

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



DPTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS
PROYECTO FIN DE CARRERA

**“Diseño de una instalación solar térmica para el suministro
de agua caliente sanitaria de 28 viviendas unifamiliares”**

Autor: PATRICIO CARRILLO GUTIÉRREZ

Tutor: PEDRO ACISCLO RODRÍGUEZ AUMENTE

Agradecer tanto a mi tutor Pedro, como a M^a del Carmen, el apoyo recibido a la hora de solucionar los problemas surgidos a la hora de realizar el presente proyecto.

Brindar este proyecto a toda mi familia, en especial a mis padres por el apoyo recibido.

Y por supuesto agradecer a todos esos amigos que me han hecho que la estancia en la universidad haya sido tan increíble e inolvidable. Gracias a todos: Javi, Boke, César, Ferdi, Michel, Morci, Javi Rabanal, Manolo, Benja, Alvarito, Fernan, Luis, Edy, Nacho, Pana, Paulino, Rafa, Jorge, Fran, Carlos, Diego, Al Jerome, Martín, Carlitos

Índice

1.- Objetivo del proyecto	6
2.- Introducción	8
2.1.- El sol, fuente inagotable de energía	10
2.2.- La radiación solar	12
2.3.- Soleamiento	15
2.4.- Situación actual	16
2.4.1.- La energía solar térmica en el mundo	16
2.4.2.- Situación en Europa	17
2.4.3.- Situación en España	20
2.5.- Ventajas de la energía solar	24
2.5.1.- Beneficios ambientales	24
2.5.2.- Beneficios socioeconómicos	26
2.5.3.- Arquitectura bioclimática	27
2.6.- Usos y aplicaciones de la energía solar térmica	31
2.6.1.- Producción de Agua Caliente Sanitaria	31
2.6.2.- Sistemas de calefacción	32
2.6.3.- Climatización de piscinas	33
2.6.4.- Refrigeración en edificios	34
2.6.5.- Usos en la industria	36
2.6.6.- Otras aplicaciones	36
2.7.- Aspectos económicos	37
2.7.1.- ¿Es rentable la energía solar?	37
2.7.2.- ¿Cuánto cuesta una instalación solar?	38
2.7.3.- ¿En cuánto tiempo se puede amortizar la inversión?	38
2.7.4.- ¿Cuántos son los costes de operación o mantenimiento?	38
2.7.5.- ¿La energía solar sería competitiva sin subvenciones públicas?	39
2.8.- El futuro de la energía solar térmica	40
2.8.1.- Plan de Energías Renovables en España 2.005 – 2.010	40
2.8.2.- Código Técnico de la Edificación en España	43
2.8.3.- Ordenanzas municipales	44
2.8.4.- Ventajas fiscales	45
3.- Descripción de una instalación solar térmica para la producción de ACS	46
3.1.- Cómo se aprovecha la energía solar	47
3.2.- Principio de funcionamiento de un sistema ACS	49
3.3.- Sistemas de captación	52
3.3.1.- Sistemas de baja temperatura	52
3.4.- Descripción de la instalación solar	54
3.5.- Componentes principales	56
3.5.1.- Captador solar	56
3.5.2.- Acumulador	61
3.5.3.- Intercambiador de calor	63
3.5.4.- Bomba de circulación	64
3.5.5.- Vaso de expansión	65
3.5.6.- Tuberías y aislamientos	65
3.5.7.- Válvulas	66
3.5.8.- Sistema de purga de aire	66
3.5.9.- Sistema de control y medida	66
3.5.10.- Sistema de distribución	68

3.5.11.- Sistema de energía de apoyo	71
3.6.- Mantenimiento y vida útil de los sistemas solares térmicos	72
3.6.1.- Mantenimiento	72
3.6.2.- Vida útil	72
4.- Prevención de la legionela	74
4.1.- Características de la legionela	76
4.2.- Medidas de prevención	77
4.2.1.- Desinfección química con cloro	79
4.2.2.- Desinfección térmica	79
5.- Cálculo de la instalación	80
5.1.- Descripción del edificio	81
5.2.- Caudal diario de ACS	82
5.3.- Potencia calorífica demandada	85
5.4.- Volumen de acumulación de ACS	87
5.5.- Pérdidas en el captador solar	96
5.5.1.- Cálculo de las resistencias	101
5.5.2.- Cálculo de las pérdidas	110
5.6.- Cálculo del área de colectores	113
5.7.- Fracción solar mínima anual	121
6.- Diseño de la instalación	125
6.1.- Esquema general de la instalación	126
6.2.- Circuito primario	217
6.2.1.- Captadores solares	127
6.2.2.- Conducciones del circuito primario	134
6.2.3.- Bomba de circulación	141
6.2.4.- Vaso de expansión	144
6.2.5.- Intercambiador de calor	149
6.2.6.- Otros elementos	156
6.3.- Circuito secundario	159
6.3.1.- Acumuladores de ACS	159
6.3.2.- Conducciones del circuito secundario	164
6.3.3.- Bomba de circulación	166
6.3.4.- Sistema de energía de apoyo	167
7.- Estudio ambiental	169
7.1.- Ahorro de combustible	172
7.2.- Reducción de emisiones de CO ₂	174
8.- Estudio económico	176
8.1.- Presupuesto	178
8.2.- Periodo de amortización	180
9.- Mantenimiento	183
9.1.- Plan de vigilancia	184
9.2.- Plan de mantenimiento	184
10.- Conclusiones	187
11.- Bibliografía	190
12.- Anexos	192
Anexo I.- Índice de figuras y tablas	193
Anexo II.- Tablas Censolar	198
Anexo III.- Velocidad y dirección del viento	204
Anexo IV.- Componentes de la instalación	216
Anexo V.- Planos	243

1. *Objetivo del proyecto*



En este proyecto se va a realizar el diseño de una instalación solar térmica para el suministro de Agua Caliente Sanitaria (ACS) de un conjunto de 28 viviendas unifamiliares en Santa Cruz de Tenerife.

El objetivo del proyecto es triple: el primero, y más importante, es tecnológico y consiste en calcular y diseñar la instalación solar térmica con todos sus componentes, así como el funcionamiento de la misma. El segundo, es el análisis del beneficio ambiental que se produciría con la construcción de la instalación solar térmica. Y el tercero, y último, es realizar una valoración económica del proyecto, así como analizar la posible rentabilidad de la misma.

Para ello deberemos hallar y calcular los siguientes parámetros:

- Datos meteorológicos (temperaturas exteriores y radiación solar).
- Consumo y necesidades de agua caliente sanitaria.
- Instalación solar propuesta (captadores solares, circuito primario, intercambiador de calor, circuito secundario y sistemas de acumulación).
- Ubicación de los elementos de la instalación solar.
- Balance energético (demanda energética total, mensual y anual, así como el cálculo de los aportes de origen solar que se pueden lograr).
- Estudio ambiental (ahorro de emisiones de CO₂).
- Balance económico (coste de la instalación solar térmica, subvenciones estimadas como inversiones finales, ahorro anual y plazos de amortización).

2. Introducción



Dentro de la gran variedad de temas que engloban las preocupaciones energéticas de la sociedad, de cara a construir un desarrollo sostenible, la energía solar se identifica como una fuente de gran transcendencia que podría ayudar a satisfacer nuestra creciente demanda de energía a largo plazo.

No obstante, según análisis realizados por expertos en el tema, en la actualidad dominamos tecnológicamente las fuentes de energía no renovables (carbón, petróleo, gas natural o energía atómica) y no dominamos aquellas que sí lo son. Sabiendo que el primer paso para invertir esta tendencia en materia de energía es la innovación científica y tecnológica, muchos países están dispuestos a afrontar los retos y fomentar el crecimiento futuro de la energía solar en ese sentido. España no es la excepción.

El aprovechamiento de esta energía limpia es un tema muy amplio, que abarca la producción de diversas formas de calor y electricidad. Su uso para la comodidad de nuestros hogares es sólo una de las múltiples maneras de aprovecharla, todas ellas con la característica común de facilitar nuestro bienestar ambiental.

El Plan de Energías Renovables 2005-2010, aprobado en agosto de 2005 en Consejo de Ministros, tiene como objetivo básico que en el 2010 el 12% de la energía primaria consumida en España provenga de energías renovables.

Para cubrir este objetivo, en el caso de la solar térmica a baja temperatura establece la instalación de 4,2 millones de metros cuadrados en el período 2005-2010.

Este objetivo es ambicioso, pero alcanzable si se ponen en marcha un conjunto de medidas innovadoras, a desarrollar en los próximos años de acuerdo con lo previsto en el Plan. Entre estas medidas destacan la reciente aprobación del Código Técnico de la Edificación, la continuidad de apoyos públicos a la inversión en este tipo de instalaciones, el apoyo a la aprobación de nuevas ordenanzas municipales y el apoyo a la mejora de los captadores y modernización de las líneas de fabricación.

El desarrollo de la energía solar en Europa pasa por el apoyo institucional para las nuevas aplicaciones. Así, desde la Comisión Europea se están promoviendo programas y directivas de apoyo a la producción de calor y frío con energía solar. Esta última aplicación tiene un gran futuro en España, por lo que se están empezando a realizar proyectos demostrativos que permitan difundir la aplicación y ganar experiencia en la ejecución de instalaciones.

No obstante, el desarrollo de la energía solar en un futuro próximo va a ser a través de las aplicaciones ya consolidadas, como el agua caliente sanitaria, la climatización de piscinas y la calefacción. Ésta última tendrá sentido, si se la combina con la aplicación de frío solar mediante máquinas de absorción, debido a que la aplicación en calefacción provoca un aumento considerable de la superficie de captadores solares.

Asimismo, la energía solar va a tener su principal desarrollo en las áreas urbanas. Por ello, los profesionales que desarrollan su actividad en este importante mercado tienen que conjugar la sencillez en el diseño con la calidad y minimización del impacto de la instalación, tareas difíciles de conjugar en numerosas ocasiones, pero que serán la clave para conseguir ganar la batalla de la integración arquitectónica de la energía solar térmica.

2.1.- El Sol, fuente inagotable de energía.

Desde que en 1957 la por entonces Unión Soviética lanzase el Sputnik I hemos tenido la oportunidad de contemplar en miles de ocasiones la Tierra desde el espacio. Pese a que las imágenes que llegan por satélite nos dan la sensación de que nuestro planeta es un globo autónomo de luz y color que flota en un espacio oscuro, nada más lejos de la realidad. Lo cierto es que no es posible entender la vida en nuestro planeta sin la influencia del exterior.

La Tierra es sólo un mundo pequeño en la órbita de una estrella que, aunque es de lo más corriente en la inmensidad del universo, resulta fundamental para nuestra existencia. Y es que casi toda la energía de la que disponemos proviene del Sol. Él es la causa de las corrientes de aire, de la evaporación de las aguas superficiales, de la formación de nubes, de las lluvias y, por consiguiente, el origen de otras formas de energía renovable, como el viento, las olas o la biomasa. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de las plantas, de los animales y, en definitiva, para que pueda haber vida sobre la Tierra.

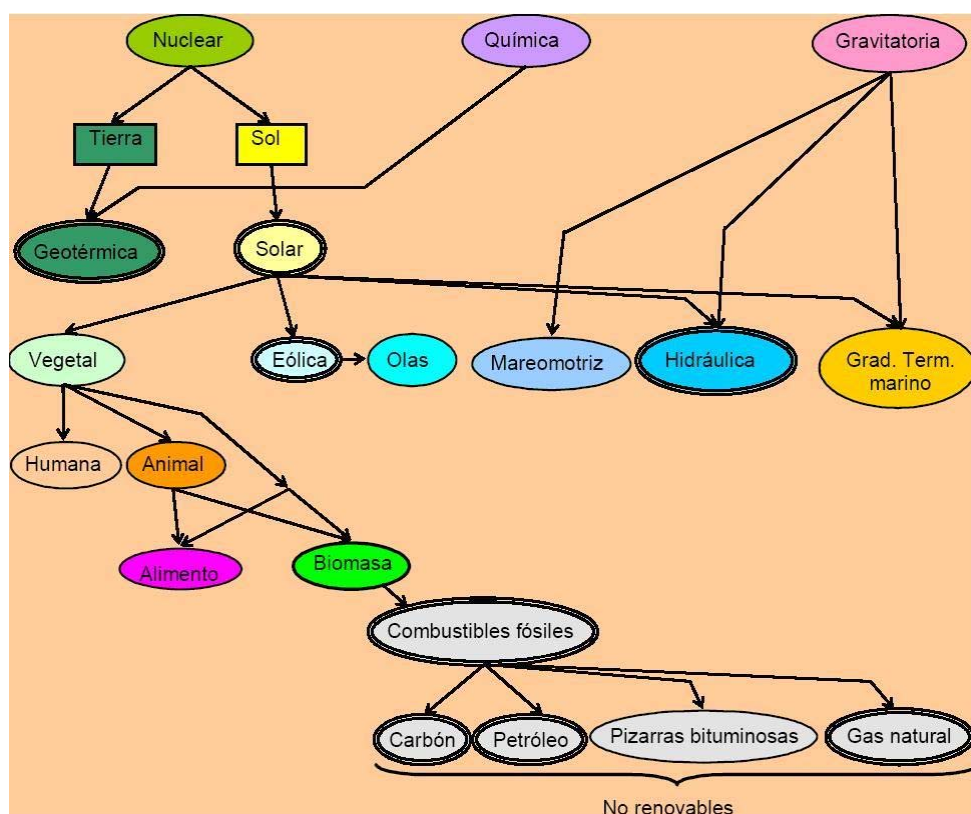


Figura 2.1.- Fuentes de energía (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).

El Sol es, por tanto, la principal fuente de energía para todos los procesos que tienen lugar en nuestro planeta. Localizado a una distancia media de 150 millones de kilómetros, tiene un radio de 109 veces el de la Tierra y está formado por gas a muy alta temperatura. En su núcleo se producen continuamente reacciones atómicas de fusión nuclear que convierten el hidrógeno en helio. Este proceso libera gran cantidad de

energía que sale hasta la superficie visible del Sol (fotosfera), y escapa en forma de rayos solares al espacio exterior.

Se calcula que en el interior del Sol se queman cada segundo unos 700 millones de toneladas de hidrógeno, de las que 4,3 millones se transforman en energía. Una parte importante de esta energía se emite a través de los rayos solares al resto de planetas, lunas, asteroides y cometas que componen nuestro sistema solar. Más concretamente, hasta la Tierra llega una cantidad de energía solar equivalente a 174.000 TW, lo que representa la potencia correspondiente a 174 millones de reactores nucleares de 1.000 MW de potencia eléctrica unitaria, o lo que es lo mismo, 10.000 veces el consumo energético mundial.

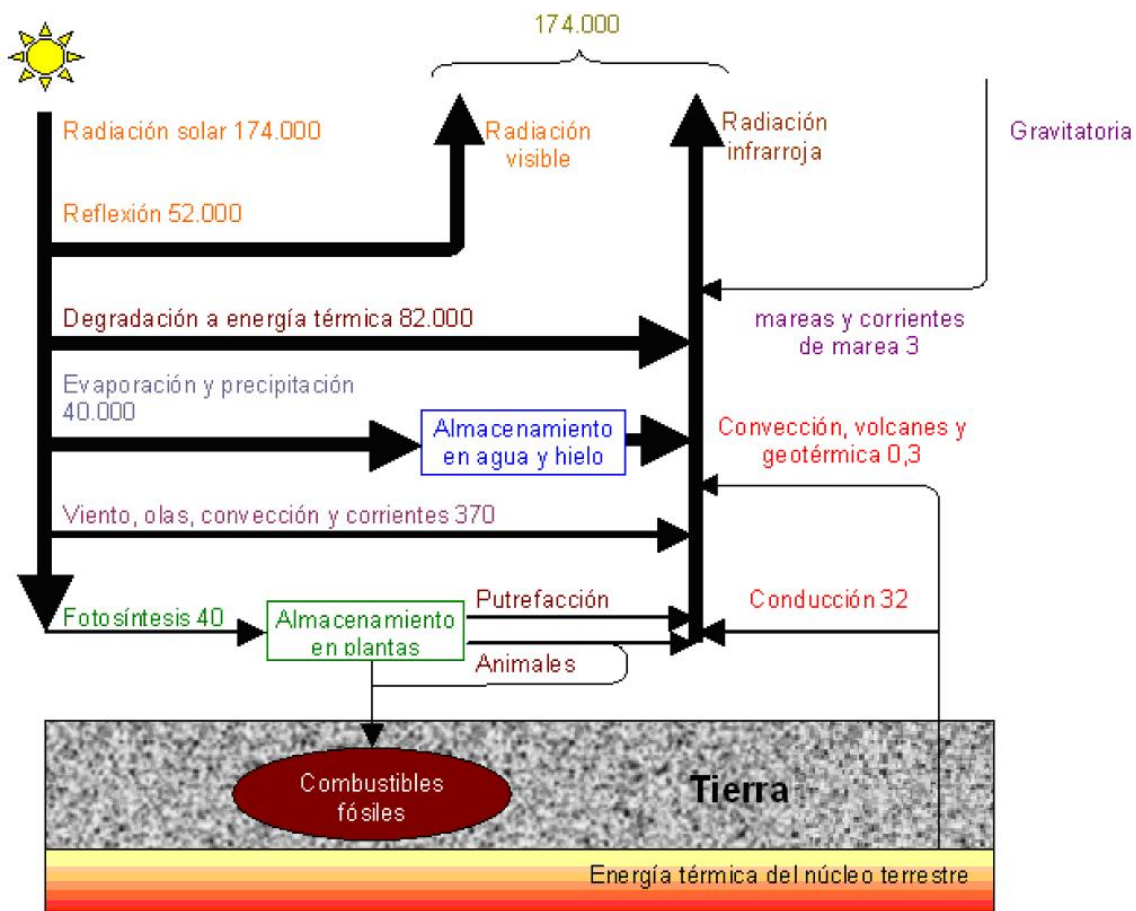


Figura 2.2.- Balance energético del planeta tierra (TW) (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas Fuentes de Energía).

Si tenemos en cuenta que las previsiones actuales apuntan a que, en los próximos 6.000 millones de años, el Sol tan solo consumirá el diez por ciento del hidrógeno que contiene en su interior, podemos asegurar que disponemos de una fuente de energía gratuita, asequible a todos (cualquier país puede disponer de ella) y respetuosa con el medio ambiente, por un periodo de tiempo prácticamente ilimitado.

2.2.- La radiación solar.

Cualquier persona que quiera aprovechar la energía solar debe ser capaz, en primer lugar, de responder a la pregunta de qué cantidad de energía llegará al lugar donde prevé realizar la captación; o sea, qué irradiancia solar recibirá por unidad de superficie. Para ello, habrá que empezar por saber qué es y cómo se comporta la radiación solar, así como cuánta energía es posible captar en función de la región del mundo en la que nos encontremos.

Como punto de partida debemos tener en cuenta que la luz es una de las formas que adopta la energía para trasladarse de un lugar a otro. En el caso del Sol, los rayos solares se propagan a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de energía. Este fenómeno físico, más conocido como radiación solar, es el responsable de que nuestro planeta reciba un aporte energético continuo de aproximadamente 1.367 W/m^2 . Un valor que recibe el nombre de constante solar y que, al cabo de un año, equivaldría a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo (petróleo, carbón...).



Figura 2.3. – *El Sol.*

Sin embargo, no toda la radiación que llega hasta la Tierra sobrepasa las capas altas de la atmósfera. Debido a los procesos que sufren los rayos solares cuando entran en contacto con los diferentes gases que componen la atmósfera, una tercera parte de la energía solar interceptada por la Tierra vuelve al espacio exterior, mientras que las dos terceras partes restantes penetran hasta la superficie terrestre. Este hecho se debe a que las proporciones de vapor de agua, metano, ozono y dióxido de carbono (CO_2) actúan como una barrera protectora. Una capa de protección que, entre otras cosas, permite que no se produzcan cambios de temperatura demasiado extremos en la superficie terrestre, así como que exista agua líquida desde hace miles de millones de años.

A la pérdida de aporte energético que se produce en las capas superiores de la atmósfera hay que añadir otras variables que influyen en la cantidad de radiación solar que llega hasta un punto determinado del planeta. Como es de imaginar, no todas las

superficies reciben la misma cantidad de energía. Así, mientras los polos son los que menor radiación reciben, los trópicos son los que están expuestos a una mayor radiación de los rayos solares. Esto tiene su explicación en el grado de inclinación del eje de rotación de nuestro planeta con respecto al plano que contiene la trayectoria de la tierra alrededor del Sol ($23,5^\circ$). La intensidad de radiación no será igual cuando los rayos solares estén perpendiculares a la superficie irradiada que cuando el ángulo de incidencia sea más oblicuo, tal y como ocurre en los polos. Y además provoca que cambie la intensidad de dicha radiación a lo largo del año en cualquier punto sobre la superficie de la tierra.

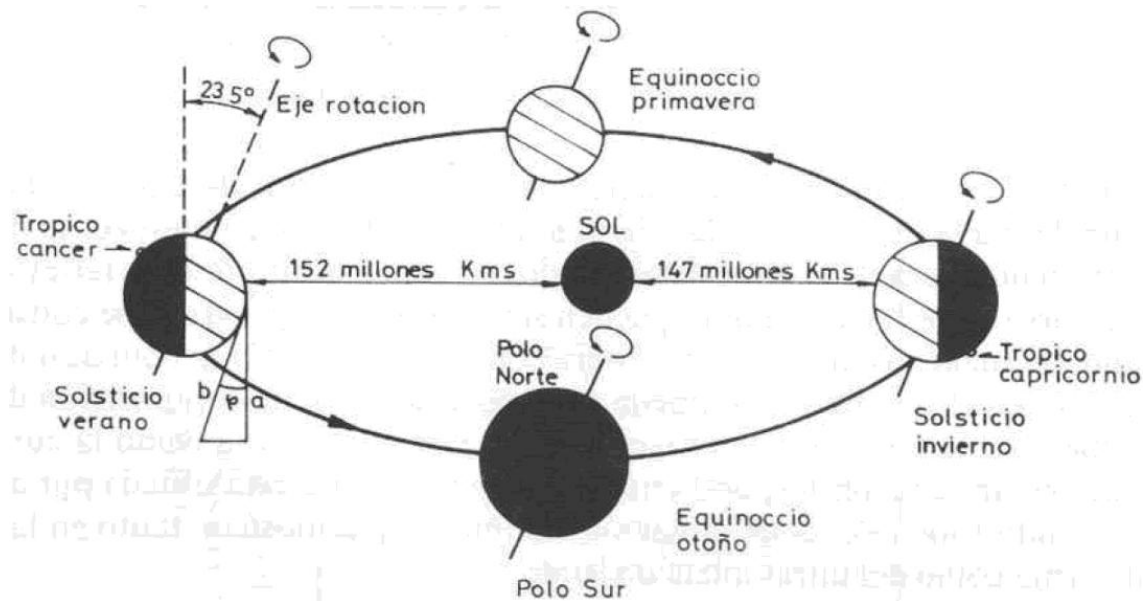


Figura 2.4.- Influencia de las estaciones sobre la energía solar recibida en la superficie de la tierra
(fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).

La declinación del Sol, pues, es la razón de que los mayores valores de radiación no se produzcan en el ecuador sino en latitudes por encima y por debajo de los trópicos de Cáncer y Capricornio. En estas zonas es donde los rayos solares son más perpendiculares y atraviesan una capa atmosférica más fina hasta llegar a su destino.

Pero para establecer, con exactitud, la cantidad de energía que se puede aprovechar en un sitio concreto, también habrá que tener en cuenta otros aspectos como la hora del día, la estación del año y muy especialmente las condiciones atmosféricas. En los días nublados disminuirá considerablemente la intensidad de la radiación y por lo tanto el aporte energético que pueda recibir una instalación de energía solar térmica. Aunque la relación entre las variaciones en la nubosidad y la radiación solar es compleja, probablemente este factor es el más importante a la hora de poder calcular la energía que llega a un punto concreto de la superficie terrestre.

Esto no quiere decir que en zonas donde hay menos horas de sol, como el norte de Europa, la energía solar constituya un aporte energético desdeñable. La suma de la radiación solar directa y la radiación difusa en ciudades como Berlín, Hamburgo o Zurich alcanzan valores medios de 1.000 KWh/m^2 lo que equivale, para hacernos una idea, a entre 110 y 115 litros de gasolina por m^2 y año. Por radiación solar directa

entendemos aquella que llega a la superficie sin haber sufrido cambios de dirección (por ejemplo, la luz cegadora al mirar el Sol), mientras que con radiación difusa nos referimos a la que llega a la superficie sin orientación determinada (días cubiertos).

La suma de todas las variables anteriormente mencionadas nos permiten conformar el mapa solar de una región determinada del planeta y establecer qué cantidad de energía media podremos captar para su uso en el ámbito doméstico, industrial, etc.

En el caso concreto de España se juntan todos los requisitos para ser uno de los países europeos con mayor capacidad para recoger la energía del Sol: una situación geográfica privilegiada, con una climatología envidiable. Situada entre los 36° y los 44° latitud Norte, nuestro país recibe una intensidad de radiación solar muy superior a la de otras regiones del planeta (incluso por encima de las zonas ecuatoriales). Además, España se ve particularmente favorecida con respecto a otros países de Europa por la gran cantidad de días sin nubes que disfruta al año. No en vano, sobre cada metro cuadrado de suelo inciden al año una media de 1.500 kWh de energía, cifra similar a la de muchas regiones de América Central y del Sur.

2.3.- Soleamiento.

Según la forma de recoger la radiación solar podremos obtener energía térmica o transformarla en electricidad, dependiendo de la tecnología utilizada en cada caso. El calor se logra mediante los captadores solares térmicos, mientras que la electricidad, por lo general, se consigue a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

Puesto que en proyecto nos centraremos exclusivamente en el aporte de energía generado por instalaciones solares térmicas, a la hora de efectuar un estudio de viabilidad habrá que considerar, sobre todo, el número de horas de sol, ya que los captadores solares obtendrán rendimientos muy superiores cuando los rayos les alcancen de forma directa. Por el contrario, para los paneles fotovoltaicos se deberá tener más en cuenta los valores de radiación difusa, porque estos paneles aprovechan mucho mejor la energía dispersa, incluso en condiciones de cielo cubierto.

Visto lo visto, España tiene ante sí un amplio potencial de desarrollo de energía solar térmica, con una media de 2.500 horas de sol aseguradas al año. La poca nubosidad, la baja humedad ambiental, el clima seco y la incidencia de los rayos solares, hacen que nuestro país obtenga unos valores de radiación directa envidiables.

Aún así, existen evidentes diferencias entre las distintas comunidades españolas. Según los datos disponibles, existe un gran contraste entre las comunidades del Cantábrico, que rondan las 1.700 horas de sol al año, y las mediterráneas, que alcanzan las 2.750 horas de sol anuales. Estas diferencias están motivadas por la presencia de varias zonas climáticas en el interior de la Península Ibérica, lo que explica porqué algunas zonas del norte de España reciben menos horas de sol que incluso regiones del centro de Europa, como Viena, con 1.890 horas de sol al año.

Las provincias del sur de Andalucía y Canarias son las que concentran mayor número de horas de sol anuales, alcanzando las 3.000. Teniendo en cuenta que en la actualidad no se aprovecha ni el 10% de la energía que nos ofrece el Sol, las posibilidades de desarrollo son realmente espectaculares.

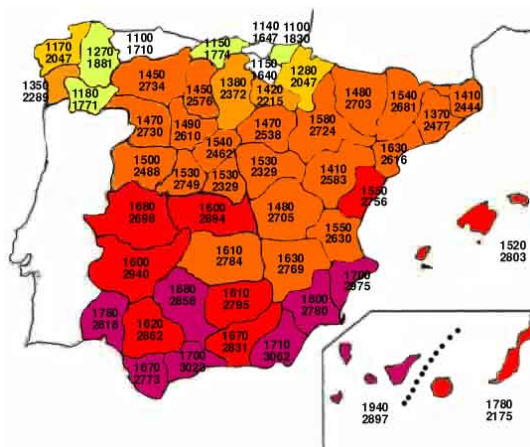


Figura 2.5.- Mapa solar en España. La cifra superior representa la energía en kWh que incide por m². En la inferior el número de horas de sol al año. (fuente: IDAE).

2.4.- Situación actual.

2.4.1.- La energía solar térmica en el mundo.

La contribución de la energía solar térmica al consumo energético mundial sigue siendo muy escasa todavía, pese a que empiezan a percibirse ciertos síntomas de cambio que permiten ser más optimistas de cara al futuro. Al creciente interés de los ciudadanos por este tipo de soluciones hay que sumar las ayudas e incentivos que se han puesto en marcha en muchos países del mundo y la reducción de precios de los captadores solares en algunos mercados especialmente activos como China o Japón. Cabe reseñar que en España, el descenso de precios ha sido significativo en los últimos 5 años. Una situación que pone de manifiesto que estamos ante una tecnología madura que ha experimentado un significativo avance durante los últimos años.

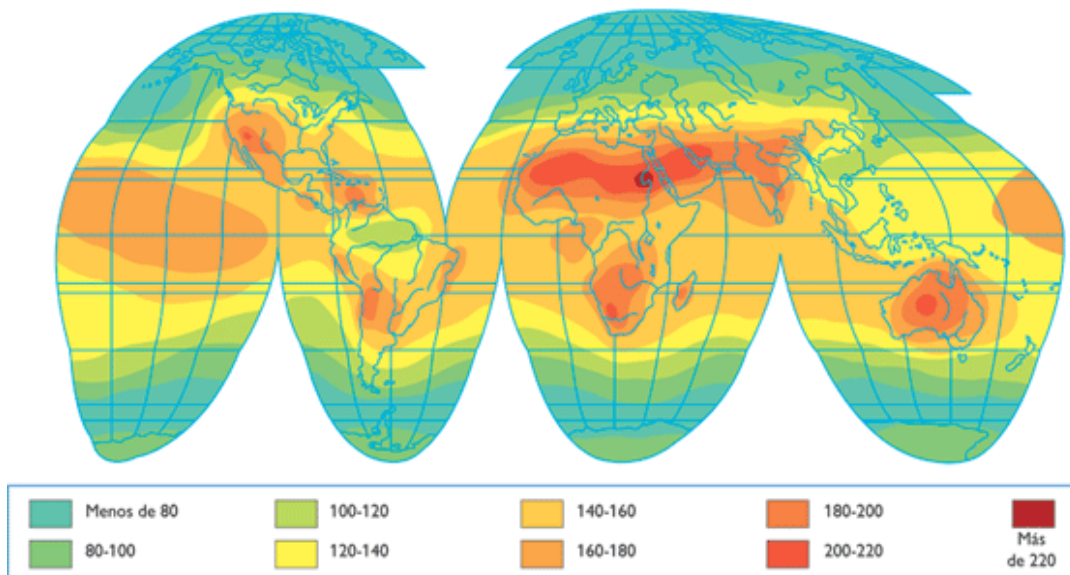


Figura 2.6.- Distribución de la radiación solar que llega a la superficie terrestre ($\text{kcal}/(\text{cm}^2/\text{año})$)
(fuente: EurObserER).

En la actualidad la capacidad de energía solar instalada en el mundo supera a la de otras renovables con altos índices de desarrollo, como es el caso de la energía eólica. Con una potencia instalada de 98,4 GW térmicos a finales de 2004 (Datos del *Solar Heat Worldwide 2004*, considerando 41 países que representan el 57% de la población mundial y el 85-90% del mercado mundial de energía solar térmica), la energía solar térmica ha alcanzado unos niveles de popularidad impensables hace tan solo unos años. Y no exclusivamente por lo que a la producción de agua caliente se refiere, sino también en cuanto a la calefacción de viviendas.

A día de hoy la mayor parte de los captadores solares instalados en el mundo tienen como finalidad la producción de agua caliente para uso doméstico (ACS). A esta aplicación se destinan los esfuerzos de la mayoría de los mercados nacionales importantes, aunque el tipo y el tamaño de las instalaciones, así como el porcentaje total de la demanda que cubre, varía en función de la zona del mundo a la que hagamos referencia.

El aporte de energía solar en sistemas de calefacción es el segundo en importancia; una aplicación que resulta especialmente interesante en países fríos y que se utiliza cada vez con mayor frecuencia tanto para viviendas familiares como para todo tipo de instalaciones colectivas. Se trata de una opción cada vez más valorada en países como China, Australia, Nueva Zelanda o Europa, donde se entiende la edificación desde una perspectiva global en la que la energía solar puede ofrecer soluciones integradas en muy diversos ámbitos, y la calefacción constituye siempre un potencial muy atractivo.

Finalmente entre las aplicaciones de la energía solar térmica en el mundo cabe también destacar la climatización del agua para piscinas. Esta aplicación sigue teniendo gran importancia en países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Austria, aunque en los últimos años ha perdido parte de su mercado, después de un periodo en el que se han registrado fuertes crecimientos.

Por lo que respecta al reparto de la energía solar térmica por países, el mercado mundial continua bajo el dominio de China. Se calcula que aproximadamente el 40% de los captadores solares colocados en el mundo se encuentran en este país. Después de alcanzar una gran aceptación en pequeños municipios durante las décadas de los años 80 y 90, la energía solar térmica en la República Popular China ha penetrado con fuerza en ciudades de medio y gran tamaño como Shangai o Tianjin. Hoy, 10 millones de familias disponen de agua caliente gracias al Sol, lo que supone un ahorro de 6,3 millones de toneladas de carbón al año, que evita la emisión de más de 13 millones de toneladas de CO₂.

A China le siguen Japón, Turquía, Alemania e Israel con altos índices de crecimiento en los últimos años. Entre ellos, llama especialmente la atención el desarrollo de la energía solar en Israel, donde alrededor del 85% de las viviendas están equipadas con captadores solares térmicos, como resultado de una ley de hace 20 años que requiere que todos los edificios de menos de 20 metros de altura deban estar dotados de sistemas solares térmicos en los tejados.

Más espectacular si cabe resulta el caso de Chipre. El país que recientemente se ha incorporado a la Unión Europea es el que más cantidad de energía solar térmica aporta por habitante en el mundo, con 431 kWth (kW térmico) por cada 1.000 habitantes. En este país más del 90% de los edificios construidos están equipados con captadores solares térmicos, lo que representa más del doble de la capacidad instalada por habitante en otros países europeos con gran tradición solar, como Grecia o Austria.

2.4.2.- Situación en Europa.

Europa representa tan solo el 9% del mercado mundial de energía solar térmica con una potencia instalada de 10.000 MWth (MW térmico) a finales de 2004, o lo que es lo mismo, un total de 14 millones de m² de captadores solares en funcionamiento. El impulso que ha recibido esta industria durante los últimos años, es lo que ha permitido dar un paso firme en el objetivo común de alcanzar los 100 millones de m² de superficie instalada que se pretenden conseguir en el horizonte de 2010.

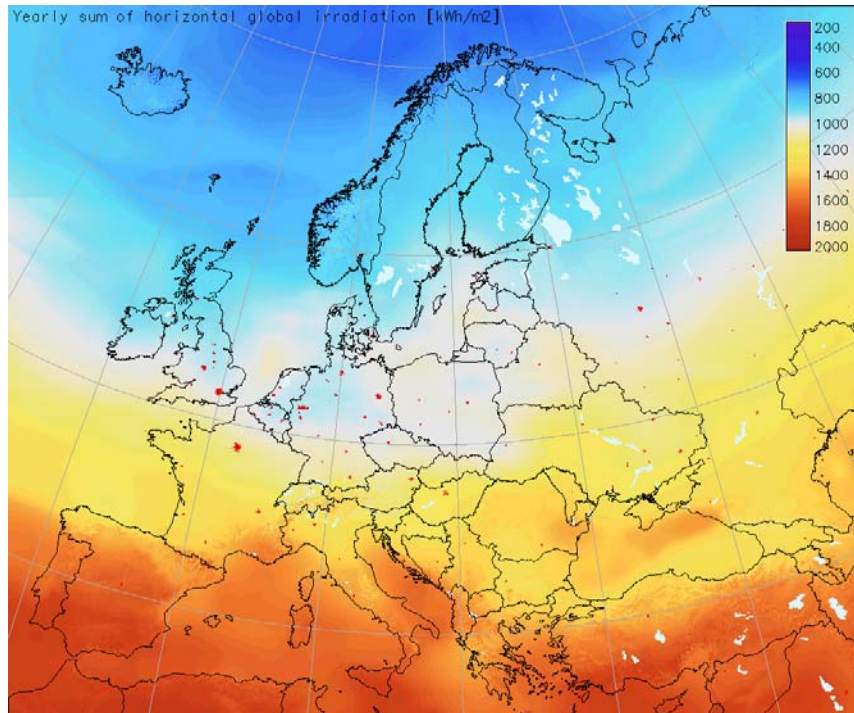


Figura 2.7.- Radiación solar anual en Europa (kWh / m^2) (fuente: EurObservER).

Aunque los objetivos contemplados por la Comisión Europea en su Libro Blanco todavía están demasiado lejos, lo cierto es que los primeros años de este nuevo milenio han resultado decisivos para el despegue definitivo de la tecnología solar térmica en Europa. Algo que no habría sido posible sin el empuje solar de países como Alemania, Grecia, Austria y España que, en conjunto, representan el 78% de la capacidad instalada en Europa (Datos del Informe de la Federación de la Industria Solar Térmica Europea de Junio de 2005).

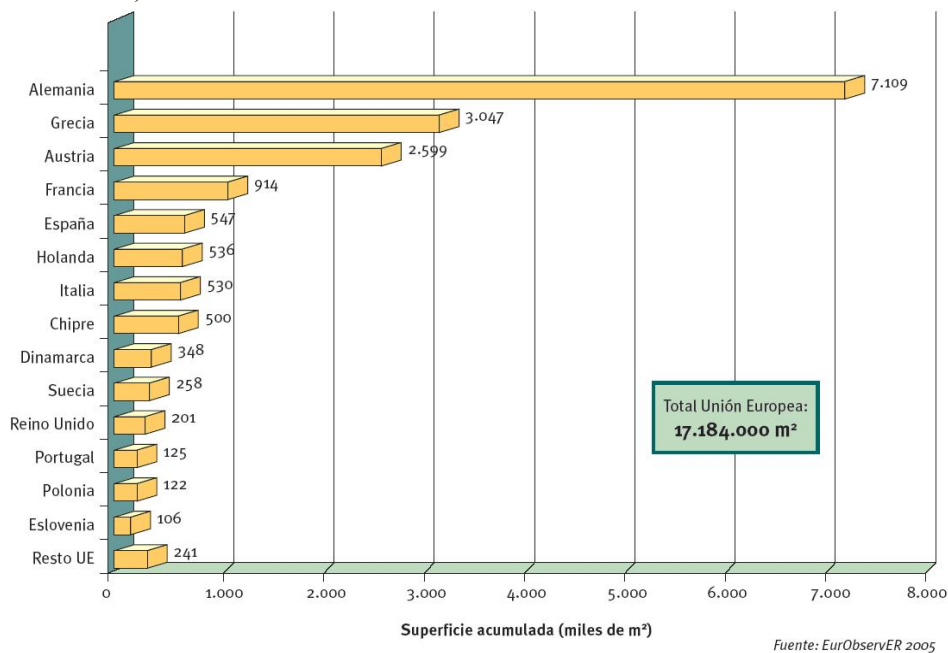


Figura 2.8.- Superficie acumulada instalada en la Unión Europea (año 2005).

El uso de los captadores solares para producir agua caliente, al igual que ocurre en el resto del mundo, es la aplicación preferida por los europeos, seguida de la calefacción y de forma muy poco significativa la climatización de piscinas, que sólo tiene cierta importancia en Austria o Alemania. En países del norte de Europa también destaca el uso de colectores de aire para calentar el espacio, en especial en Suiza, con un total de 581 MWth producidos con esta tecnología, Noruega con 287 MWth instalados, y a más distancia Finlandia.

Precisamente, la investigación de nuevas tecnologías de origen renovable es una de las señas de identidad del mercado europeo. Los países de la Unión Europea son los que están conduciendo el desarrollo de la industria solar térmica en la mayoría de las áreas tecnológicas. Sin embargo, esto podría dejar de ser así pronto, a no ser que los países de la Unión se decidan a ampliar significativamente la capacidad de energía solar instalada en cada uno de los mercados nacionales que forman parte de la Europa de los 25.

Con el objeto de fomentar el uso de esta fuente renovable frente a otras opciones menos respetuosas con el entorno, la mayoría de países europeos conceden ayudas públicas a empresas y particulares. El objetivo de éstas es aumentar significativamente el parque solar a través de incentivos económicos que hagan más atractiva la energía solar térmica al usuario. El tipo de apoyo público más usual son las subvenciones directas, en cuantías que varían del 20% al 60%, como es el caso de Austria, Alemania, Dinamarca, España, Holanda o Suecia. El último en sumarse a esta forma de potenciar la energía solar térmica es Francia, donde se ha puesto en marcha el “*Plan Soleil*”, que permite deducir de la declaración de la renta más del 40% de los costes de instalación. Una iniciativa que ya empieza a dar sus frutos y que ha generado grandes expectativas a corto y medio plazo.

Por su parte, Alemania continúa con el programa “*Marktanreiz*” que tan buenos resultados le ha dado desde principios de los años 90 y que le ha llevado a colocarse como líder indiscutible en Europa, con 4.000 MW térmicos instalados y una superficie de 5,7 millones de metros cuadrados. El 80% del mercado doméstico en este país corresponde a instalaciones-tipo para agua caliente sanitaria (ACS) en viviendas familiares, aunque también se están empezando a potenciar los sistemas solares de gran tamaño para suministrar calor a edificios comerciales, industrias, hospitales e incluso barriadas enteras.

Grecia es el segundo país europeo en importancia en cuanto a volumen de mercado se refiere. Con un 14% del total de la superficie instalada en la Unión Europea, el país heleno dispone de un tejido solar que abastece de agua caliente a uno de cada cuatro habitantes. Después de varias décadas en las que el gobierno ha apoyado con decisión la instalación de paneles solares mediante incentivos fiscales y a través de campañas de publicidad en medios de comunicación, actualmente se han suspendido todos los privilegios con los que contaba esta tecnología en el pasado. Sin embargo, esta medida no ha repercutido en la demanda que, en 2004, aumentó un 34% respecto al año anterior. Esto pone de manifiesto el grado de satisfacción de los helenos con la energía solar térmica y su confianza en esta tecnología para producir agua caliente.

2.4.3.- Situación en España.

España es un país especialmente favorecido por la radiación solar gracias a su privilegiada situación geográfica y climatológica. Según datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), la radiación solar global sobre superficie horizontal en España oscila entre 3,2 kWh/m²/día de la zona más septentrional de territorio hasta los 5,3 kWh/m²/día de la isla de Tenerife.

España es el cuarto país europeo en el aprovechamiento de la energía solar térmica, por delante de países como Italia, Francia o Gran Bretaña. Con un 6% del total del mercado europeo, nuestro país ha alcanzado la madurez tecnológica y comercial tras más de 20 años de experiencia.

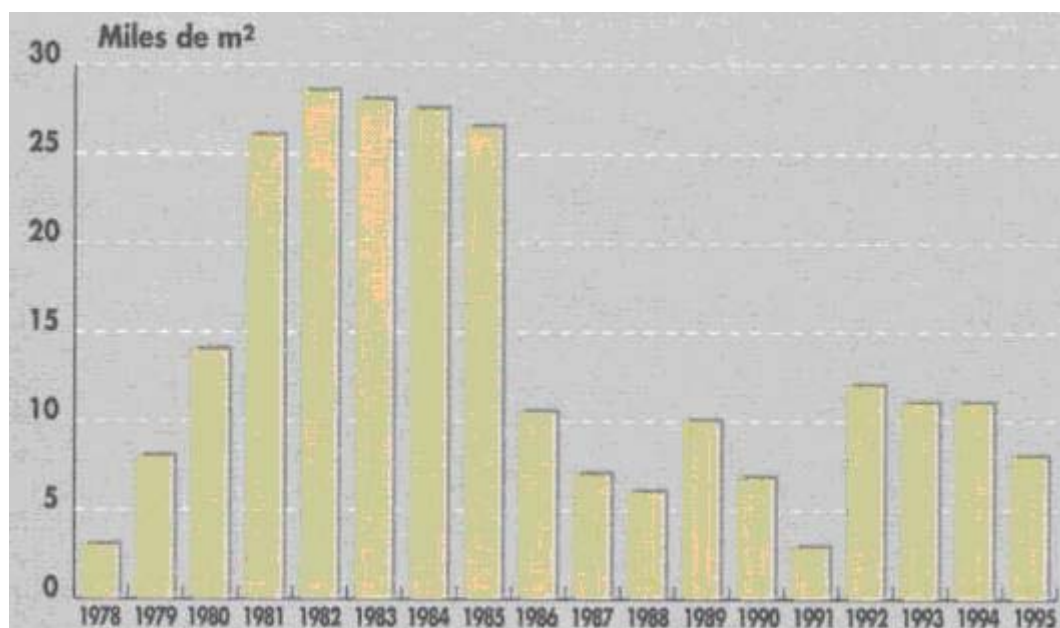


Figura 2.9.- Superficie instalada en España en el periodo 1978-1995 (fuente: IDAE).

No obstante, el desarrollo de la energía solar en España se ha producido a un ritmo muy desigual a lo largo de las últimas décadas. A finales de la década de los 70 y principios de los 80 se empezaron a dar los primeros pasos en el desarrollo de esta energía. Durante los primeros años, coincidiendo con la crisis energética que se encontraba en su mayor intensidad entonces, se crearon unas expectativas sobre la utilización de la energía solar quizás demasiado sobredimensionadas para las posibilidades reales de aquellos momentos. Al abrigo de las buenas perspectivas del mercado surgieron un gran número de empresas, tanto de fabricación de captadores solares como de instaladores, que no en todos los casos contaban con las suficientes garantías técnicas de calidad y fiabilidad de los equipos para ofrecer este tipo de servicios. Esto provocó que algunas instalaciones no dieran los resultados previstos y, lo que es peor, la sensación de que la energía solar térmica ofrecía baja durabilidad, mal rendimiento y problemas frecuentes para el usuario.

Así, durante el último tramo de este periodo se produjo un estancamiento del mercado y una selección natural tanto de los fabricantes como de los instaladores, que

llevó al cese de sus actividades a aquellos que no estaban lo suficientemente preparados para dar servicios de calidad en este mercado.

Posteriormente, en el periodo que va desde 1985 a 1995, los precios energéticos sufrieron un fuerte descenso y la sensación de crisis energética desapareció. Las entidades relacionadas con las instalaciones solares que continuaban en el mercado se afianzaron y la demanda se estabilizó a un nivel de aproximadamente 10.000 m² por año.

Durante este periodo se produjeron avances significativos en los aspectos de calidad y garantías ofrecidos tanto por los instaladores como por los fabricantes de equipos. También se mejoró notablemente el mantenimiento de las instalaciones. Cabe mencionar la aparición de nuevos conceptos, como la "garantía de resultados solares", por el que al usuario se le aseguraba la producción de una cantidad de energía con un sistema solar que, de no alcanzarse, se compensaba pagándole la diferencia entre la energía garantizada y la energía realmente producida por su instalación. Otra novedad fue la introducida en el "Programa Prosol" de la Junta de Andalucía, consistente en el "pago a plazos" de la inversión. Hoy en día este tipo de facilidades en la financiación se han extendido al resto del territorio español, a la vez que se han puesto en marcha otros mecanismos para favorecer la instalación de captadores solares mediante subvenciones directas.

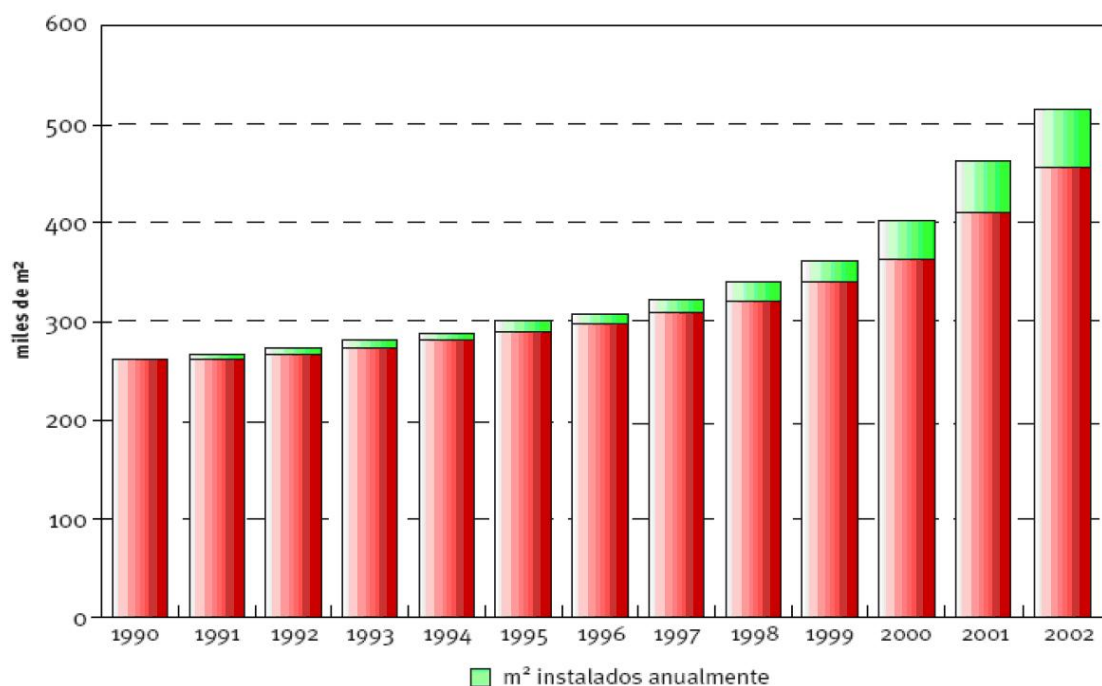


Figura 2.10.- Superficie total instalada de energía solar térmica en España desde 1990 a 2002 (fuente: IDAE).

En esta última década, la aportación de energía solar térmica ha aumentado considerablemente en nuestro país, sobre todo, gracias a las ayudas públicas (línea ICO-IDAE, CC.AA., y ordenanzas municipales), a la madurez del mercado en todos los sentidos, y a las grandes posibilidades que ofrece esta tecnología en un país con tantas horas de sol al año como España. De los 10.000 m² nuevos que se instalaban cada año

en la década de los 90, hemos pasado a crecimientos medios por encima de los 60.000 m² en los primeros años de 2000, hasta llegar a los 90.000 en el año 2005.

Con todo, nuestro país aún se encuentra lejos de los objetivos nacionales fijados en el Plan de Energías Renovables (PER), que plantea alcanzar una superficie instalada de 4,9 millones de metros cuadrados para el año 2010. Para ello, la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, que obliga a instalar un aporte de energía solar para agua caliente en todas las viviendas de nueva construcción, junto a las medidas ya puestas en marcha con anterioridad, darán un impulso definitivo a un mercado con excelentes perspectivas a medio y largo plazo.

En la actualidad, el principal cliente de energía solar en España es el usuario particular que solicita la instalación de captadores solares de baja temperatura para el consumo de agua caliente sanitaria. En segundo lugar se encuentran los hoteles y restaurantes, en los que existe un creciente interés por este tipo de soluciones energéticas.

Además de estos dos grupos de consumidores, que son los que más aportan al total de la superficie instalada en España, en general, se puede decir que existen buenos ejemplos en múltiples sectores y para todo tipo de aplicaciones posibles, pudiendo mencionar las instalaciones en centros educativos, centros deportivos, centros sanitarios, albergues, campings, servicios públicos, industrias, etc.

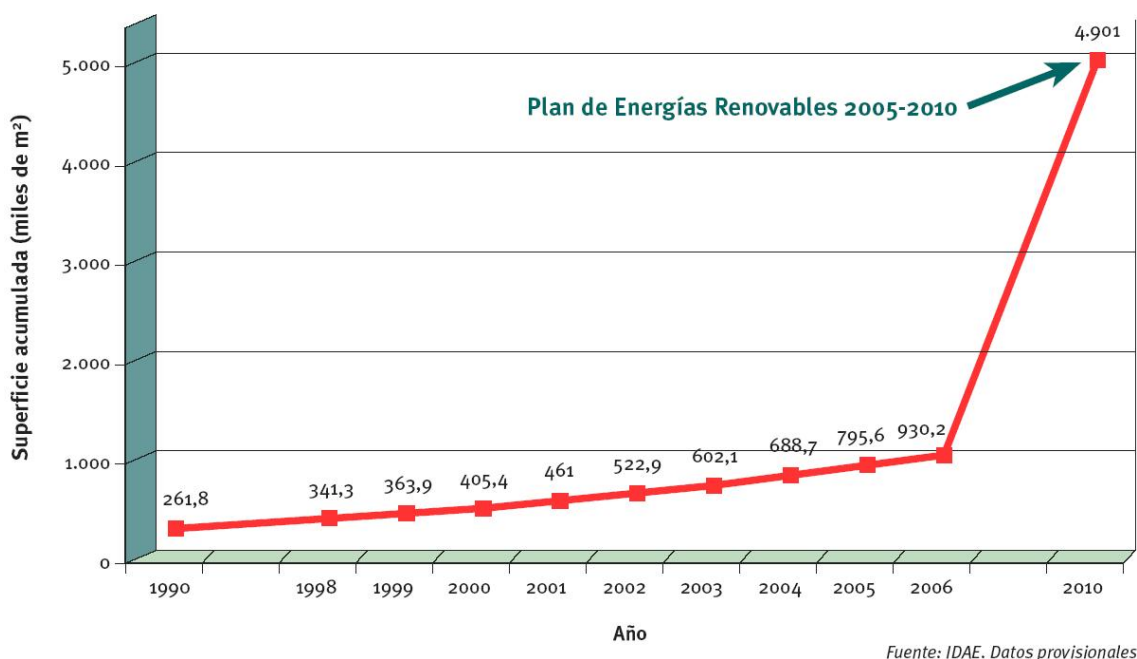


Figura 2.11.- Evolución de la superficie instalada en España.

En cuanto al reparto del mercado por zonas geográficas, las comunidades autónomas con mayor superficie instalada son aquellas que cuentan con un clima más favorable para el aprovechamiento de la energía solar térmica. En este sentido destacan por sus cuotas de participación en el mercado Andalucía, Cataluña, Canarias, Baleares, la Comunidad Valenciana y Madrid, según orden de importancia. También se observa una mayor concentración de instalaciones solares en zonas turísticas o de alto nivel de renta.

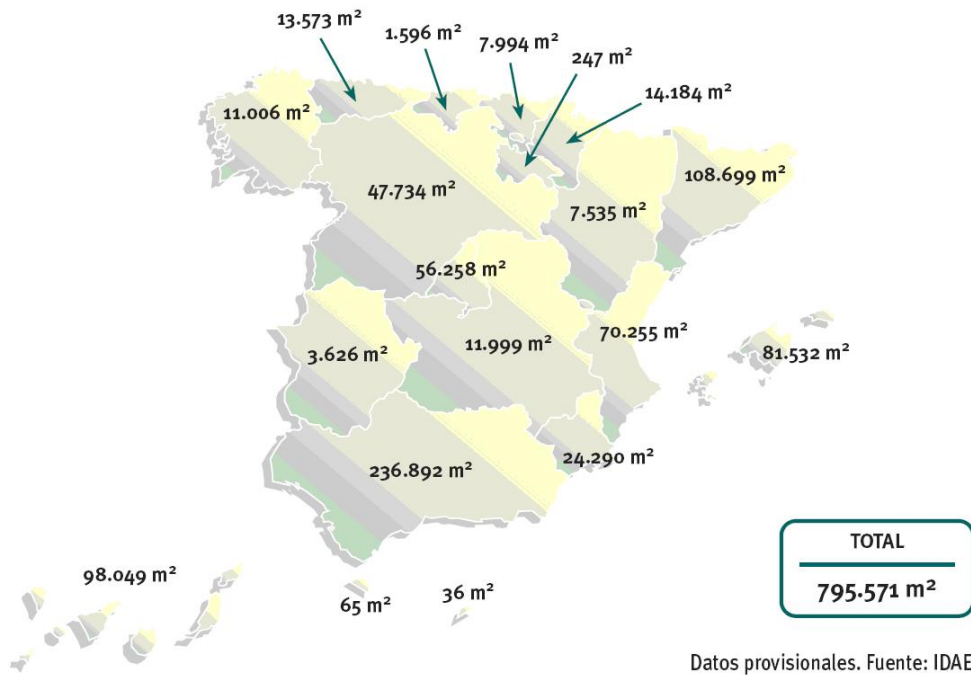


Figura 2.12.- Distribución de la superficie de energía solar térmica en España por captadores instalados a finales de 2005.

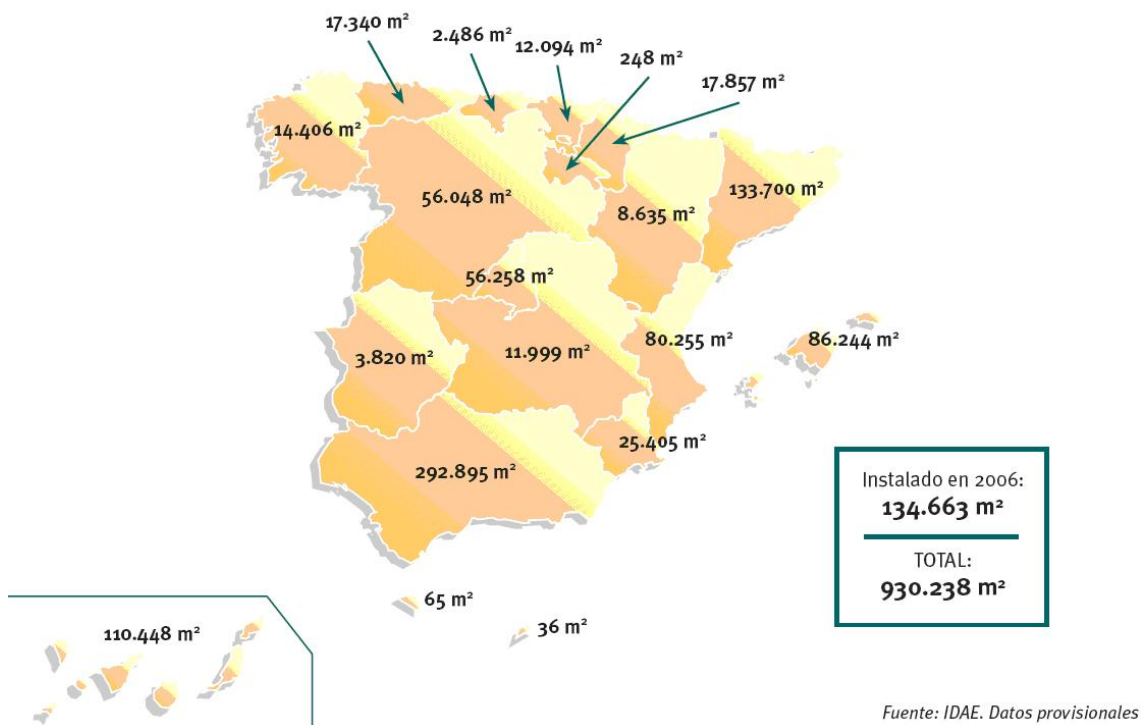


Figura 2.13.- Distribución de la superficie de energía solar térmica en España por captadores instalados a finales de 2006.

2.5.- Ventajas de la energía solar.

2.5.1.- Beneficios ambientales.

La energía es el motor que hace funcionar el mundo. Sin energía no podríamos iluminar nuestras casas ni tener calefacción, no podríamos ver la televisión ni desplazarnos en coches o autobuses cada día. Su uso forma parte de nuestro estilo de vida y es inherente al desarrollo de nuestra sociedad.

Sin embargo, debemos ser conscientes de que las principales formas de energía que disfrutamos hoy en día se agotarán tarde o temprano. Las tres fuentes de energía más importantes de nuestro tiempo (el petróleo, el carbón y el gas natural) son fruto de la acumulación de restos orgánicos en la naturaleza desde hace millones de años. El uso masivo que hoy hacemos de ellas ha provocado una drástica disminución de sus reservas en tan sólo un siglo.

En consecuencia, de mantenerse el modelo de consumo actual, los combustibles tradicionales dejarán de estar disponibles a medio plazo, bien por el agotamiento de las reservas, o porque su extracción habrá dejado de ser rentable.

Por eso resulta tan importante desarrollar nuevas tecnologías basadas en el aprovechamiento de los recursos renovables que, como su propio nombre indica, son inagotables, además de respetuosas con el medio ambiente.

La energía solar es uno de esos recursos renovables que nos regala la naturaleza a cada instante. Y lo que es igual de importante, una fuente de energía que no daña el entorno en que vivimos. El uso de dicha energía contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y aporta soluciones al constante incremento de precio y agotamiento de los combustibles fósiles.

Las principales ventajas medioambientales de la energía solar térmica de baja temperatura, aquella que utilizamos en el ámbito de la vivienda, son:

- Se trata de una energía que proviene directamente del Sol.
- No emite gases contaminantes perjudiciales para la salud.
- No emite gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.
- No produce ningún tipo de desperdicio o residuo peligroso de difícil eliminación.
- No produce efectos significativos sobre la flora y la fauna, a no ser que hagamos referencia a las instalaciones de alta temperatura, que suelen ocupar una gran extensión de terreno.
- Su impacto sobre el medio ambiente es mínimo, y de producirse alguno ocurre exclusivamente durante la fase de fabricación de los equipos.
- Este tipo de instalaciones no dejan huella ecológica cuando finaliza el periodo de explotación.
- Es una energía que no corre peligro de agotarse a medio plazo, puesto que su fuente productora es el Sol.

- No requiere costosos trabajos de extracción, transporte o almacenamiento.

Un elemento específico de la energía solar térmica, que la diferencia de otras fuentes de energía tanto convencionales como renovables, es que se genera directamente en los puntos de consumo, por lo que no requiere transporte ni creación de infraestructuras.

En la actualidad esto no es del todo cierto, debido a las modernas centrales termosolares, que producen electricidad que inyectan en la red de distribución.

Además, su aplicación suele tener lugar en el entorno urbano, en el cual las emisiones contaminantes de los combustibles tradicionales tienen mayor incidencia sobre la salud humana, consiguiéndose así disminuir sensiblemente las emisiones gaseosas originadas por los sistemas convencionales de generación de agua caliente.

La energía solar también contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂, responsables del calentamiento global del planeta. Se calcula que con el uso de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria, una familia puede evitar, de media, la emisión de una tonelada de CO₂ al año. Al extrapolar estos datos a los millones de familias de todo el mundo que actualmente utilizan la energía solar térmica para producir agua caliente y calefacción, obtenemos que nuestro planeta se ahorró la emisión de más de 17 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera sólo durante el año 2004. Una contribución desde luego nada desdeñable.



Figura 2.14.- Ahorro de las emisiones de CO₂ con el uso de una instalación solar para ACS (fuente: IDAE).

Por el contrario, en el lado de los deberes de la energía solar térmica cabe destacar el impacto visual sobre el paisaje, por lo que es conveniente tener especial cuidado en su integración en el entorno, así como en su adaptación a los edificios. En este sentido, en los últimos años se ha avanzado mucho en cuanto al trabajo y aceptación de los diseñadores de las instalaciones y arquitectos. Existen numerosos ejemplos de las numerosas posibilidades de integración de los equipos, sobre todo si la instalación se considera desde la concepción del proyecto en el que va a ir ubicada. Existe al respecto una amplia variedad de productos que permiten adaptarse mejor al entorno, y captadores

que pueden instalarse en horizontal o vertical, según sea más conveniente en cada proyecto constructivo.

Adicionalmente, la aplicación de energía solar térmica en determinados sectores como el hotelero e industrial es un aspecto de interés fuera del campo estrictamente energético, ya que proporciona una imagen de respeto con el medio ambiente, cuidado y entorno y calidad de vida, que les da un valor añadido frente a sus clientes.

2.5.2.- Beneficios socioeconómicos.

A la larga lista de beneficios ambientales, económicos y de eficiencia energética, hay que añadir los sociales. La energía solar térmica genera una actividad económica y, como tal, contribuye a la creación de empleo, en especial al impulso de empresas de carácter local.

El tejido empresarial del sector solar térmico de baja temperatura en nuestro país esta constituido por empresas de muy diferentes perfiles. La comercialización e instalación se realiza a través de un importante grupo de pequeños suministradores e instaladores, la fabricación de los equipos de captación solar se encuentra en manos de productores nacionales y de importadores y distribuidores de compañías extranjeras.

En España existen al menos 12 fabricantes de captadores solares. La producción de los captadores se realiza, en general, con procesos de fabricación poco mecanizados y fábricas de pequeña entidad, debido al bajo volumen de mercado y a que, tradicionalmente, el sector ha estado muy concentrado en determinadas zonas geográficas.

Entre ellos, también existe un núcleo de fabricantes con cobertura nacional, cuyos procesos de fabricación están más mecanizados, que tienen un mayor potencial económico y comercial, y que en los últimos años han incorporado a su catálogo de productos nuevas aplicaciones solares térmicas de frío y calefacción.

Un segundo y muy fragmentado grupo de empresas se dedica a la venta e instalación de sistemas de energía solar. Este segmento está constituido por lo que podemos considerar PYMES de ámbito regional o local, generalmente ubicadas en los puntos de venta. Las empresas de este tipo suelen encargarse de realizar instalaciones sencillas y en el caso de que el proyecto exceda de su capacidad, recurren a operarios de mayor entidad o al fabricante para realizar conjuntamente el proyecto y la propia instalación.

Finalmente, un tercer grupo está constituido por un número creciente de importadores/distribuidores que han incrementado su peso en el mercado en los últimos años. Su actividad se centra en traer captadores procedentes de países con procesos de fabricación más mecanizados, por lo que el coste de producción es menor, introduciendo así un producto de calidad y económicamente competitivo.

Dentro de la cifra global de 385 empresas dedicadas a actividades de energía solar en cualquiera de sus fases, sólo un porcentaje reducido es capaz de mantenerse íntegramente con el negocio de la energía solar, siendo para la mayoría de ellas algo colateral que les amplía el número de clientes e incrementa su cifra de negocios

dedicada normalmente al diseño, venta, montaje y mantenimiento de equipos de agua caliente sanitaria y climatización en general.

En este escenario, la firme decisión de los estados miembros de la Unión Europea a fomentar la instalación de placas solares en las azoteas del Viejo Continente, junto al aumento del nivel de ayudas y la entrada en vigor, en España, del Código Técnico de la Edificación, vendrá a dar un impulso definitivo al sector económico de la solar térmica. Las previsiones apuntan a que el ritmo de creación de puestos de trabajo en nuestro país se podría multiplicar por treinta en los próximos años, pasando de los 1.600 empleados con los que cuenta en la actualidad a 50.000 en el año 2010. Esto supone un gran impacto social, sobre todo si tenemos en cuenta que el sector solar térmico está constituido mayoritariamente por pequeñas y medianas empresas.

2.5.3.- Arquitectura bioclimática.

Origen de la arquitectura bioclimática:

La relación del hombre con el Sol se remonta a muy antiguo. Los primeros pobladores no tardarían en darse cuenta de que el Sol es una fuente inagotable de calor y que su aprovechamiento resulta de gran utilidad para intentar combatir el frío de las estaciones invernales. Pronto empezarían a construirse asentamientos humanos en los que se tendría en cuenta la dirección de los rayos solares y su capacidad para transmitir calor.

Ya en la antigua Grecia, hace más de 2.500 años, Sócrates decía que “la casa ideal debería ser fresca en verano y cálida en invierno”. Bajo este criterio muchas construcciones se comenzaron a diseñar con grandes aberturas al Sur, de manera que en invierno el sol penetrase en ellas, y en verano, a través de voladizos, se impidiera su entrada. Siglos después, en la época del Imperio Romano, se llegaría aún más lejos. Las leyes romanas harían del sol un derecho. El Código Justiniano protegería la irradiación solar en determinados lugares públicos, prohibiendo la construcción de edificios que pudieran, con su sombra, impedir la entrada de los rayos solares en espacios especialmente representativos de las urbes romanas.

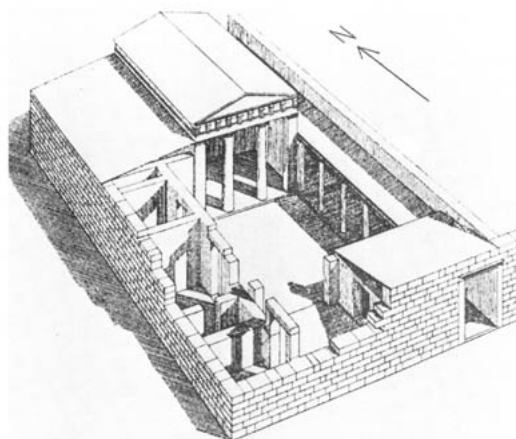


Figura 2.15.- Casa típica de la antigua Grecia (fuente: apuntes de la asignatura de Energías Renovables)

Así, a lo largo de la historia, el uso pasivo de la energía solar o lo que hoy conocemos como arquitectura bioclimática, se ha ido convirtiendo en toda una tradición. Un ejemplo muy típico de este saber popular es el encalado de las casas en zonas con climas templados, que al ser blanco produce la reflexión de los rayos solares en verano, pero que al llegar el otoño y las lluvias pierde parte de su blancura y permite una mayor ganancia de radiación en invierno. Lo mismo se puede decir de la costumbre de construir patios interiores o aleros en casas del mediterráneo para protegerse del calor del Sol, o del hábito tan frecuente en tantas partes del mundo de orientar las fachadas principales hacia el Sur para calentar el interior de las viviendas en invierno.

No obstante, con la llegada de la revolución industrial en el siglo XIX, la aparición de las ciudades dormitorio y, en especial, con la irrupción del petróleo como principal fuente de energía, las técnicas aplicadas a la construcción para buscar la protección contra el clima fueron perdiendo parte de su importancia. En el último siglo han proliferado construcciones en las que los aspectos energéticos quedaban relegados a un segundo plano. Las tendencias del momento, más preocupadas por el impacto visual o el máximo aprovechamiento del espacio, dejaron de lado otras técnicas tradicionales que tenían como principal objetivo evitar el aporte adicional de energía siempre que fuera posible.

Durante el siglo XX, los sistemas para aprovechar de forma natural la energía del Sol se fueron sustituyendo paulatinamente por aparatos mecánicos que aportan energía de modo artificial; sistemas de aire acondicionado, sistemas de calefacción por gas, electricidad... De esta manera, principios básicos de la arquitectura tradicional que tenían como finalidad ahorrar energía por medio de la orientación de la vivienda, el color de sus muros o los materiales de construcción empleados, no siempre se han tenido en cuenta a la hora de proyectar la edificación de nuevas viviendas.

Hoy por hoy, el agotamiento de los combustibles fósiles, unido a los problemas ambientales derivados de su uso masivo, ha vuelto a poner de actualidad esta arquitectura tradicional. Las mejoras técnicas disponibles en estos momentos permiten obtener importantes ahorros de energía para la calefacción en invierno o para la climatización en verano. Y es que, sin duda, la mejor energía es la que nunca se llega a consumir.

Principio de la arquitectura bioclimática:

La energía, como se ha llegado a decir, es la verdadera riqueza de los tiempos modernos... más apreciada, incluso, que el oro. La energía es el resultado de un proceso caro, y por eso debemos aprender a valorarla y no derrocharla. Este proceso de aprendizaje es casi tan importante como el desarrollo de nuevas fuentes de energía alternativas.

Una de las mejores maneras de reducir el consumo de energía en el ámbito de la vivienda es sacar el máximo provecho a la energía solar, por medio de lo que hoy se denomina “arquitectura bioclimática”, que otros conocerán como arquitectura solar o energía solar pasiva. Con unas pocas recomendaciones básicas y con unos cuantos principios elementales aplicados a la construcción de viviendas, se puede lograr un ahorro de energía que agradecerá el planeta, la economía nacional y nuestros bolsillos.

El principio de la arquitectura bioclimática consiste en valerse de determinados elementos arquitectónicos para aprovechar el calor del Sol y la ventilación natural. Un edificio mal orientado, o con unos materiales de construcción inadecuados, puede llegar a consumir el doble de energía que uno similar bien diseñado y orientado.



Figura 2.16.- Casa con arquitectura bioclimática (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).

Sin querer entrar en detalle acerca de los distintos sistemas existentes en la actualidad para disminuir la demanda energética de los edificios, hay que dejar claro que las casas del futuro deberán tener cada vez más en cuenta los aspectos energéticos, tal y como se establece en el nuevo Código Técnico de la Edificación que dedica un apartado especial al uso de aislamientos en viviendas.

De sobra es conocido que contar con un sistema de aislamiento eficaz puede ayudar, y mucho, a climatizar una vivienda de forma natural. Una casa mal aislada estará menos protegida ante las inclemencias del tiempo y tenderá a desperdiciar energía al enfriarse rápidamente en invierno y al calentarse en menos tiempo durante el verano.

Se calcula que entre el 25 y el 30% de nuestras necesidades de calefacción o de aire acondicionado son debidas a las pérdidas de calor que se originan en las ventanas. Los sistemas de doble cristal o doble ventana representan una forma eficaz de potenciar el “efecto invernadero” en el hogar, además de disminuir las corrientes de aire, condensación de agua, o la formación de escarcha.

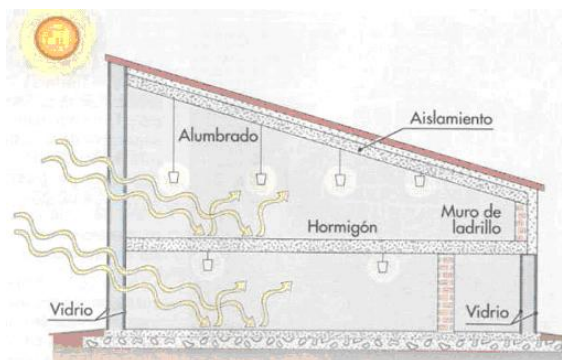


Figura 2.17.- Arquitectura bioclimática (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).

Del mismo modo, el tipo de carpintería también resulta determinante a la hora de conseguir una temperatura cálida en el interior de una vivienda. Algunos materiales (como el hierro o el aluminio) se caracterizan por su alta conductividad térmica, por lo que permiten el paso del frío o del calor con mucha más facilidad que otros materiales como la madera o el hormigón, con un poder aislante muy superior.

Pero, al margen de los sistemas de aislamiento que favorecen el acondicionamiento de la temperatura en la vivienda, la arquitectura bioclimática se basa en una serie de principios elementales que resulta interesante conocer aunque sea sólo por encima.

La orientación y la envolvente del edificio es uno de estos principios. Los muros y ventanas deberán estar dispuestos según la zona climática en la que nos encontremos. En lugares fríos interesa que los cerramientos de mayor superficie, los acristalamientos y las habitaciones de mayor uso estén orientadas al sur para aprovechar al máximo el calor del Sol. Por el contrario, los ventanales y las superficies orientadas hacia el norte deberán ser lo más pequeñas posibles para proteger la vivienda frente al viento y el frío. En zonas calurosas, se procederá justamente a la inversa.

Tienen importancia, asimismo, otros aspectos como el color de muros y tejados a la hora de conseguir una mayor eficiencia energética en los edificios. En Andalucía, por ejemplo, se pintan las casas de blanco para evitar una ganancia excesiva de calor, mientras que en la zona norte de España, los muros y tejados son de colores oscuros con la intención de absorber la mayor cantidad de radiación solar posible.

Los árboles, setos, arbustos o enredaderas, también pueden contribuir al ahorro de energía. Ubicados en lugares adecuados, no sólo aumentan la estética y la calidad ambiental, sino que además proporcionan sombra y protección ante el viento. Además, el agua que se evapora durante la actividad fotosintética enfría el aire y puede lograr una bajada de temperatura de entre 3 y 6 °C, en las zonas arboladas.

En definitiva, la arquitectura bioclimática combina una serie de principios elementales que, aplicados a la construcción, pueden llegar a producir grados de confort muy elevados, a la vez que un ahorro muy significativo en la factura energética. Además, hay que tener presente que se trata de un sistema de gran durabilidad, puesto que su vida es análoga a la del edificio.

2.6.- Usos y aplicaciones de la energía solar térmica.

La energía solar térmica es una alternativa muy interesante en una gran variedad de aplicaciones, entre las que se encuentra el agua caliente sanitaria, la calefacción, la climatización de piscinas, o la producción de calor en multitud de procesos industriales.

A la larga lista de usos plenamente probados y contrastados tras varias décadas de experiencia, hay que añadir otros que empiezan a tener grandes expectativas de desarrollo a corto y medio plazo, como es el caso de la refrigeración de ambientes por medio de procedimientos solares.

2.6.1.- Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

El agua caliente sanitaria es, después de la calefacción, el segundo consumidor de energía de nuestros hogares: con un 20% del consumo energético total (Datos de la “*Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable*” publicada por IDAE). La cantidad de energía que dedicamos a satisfacer estas necesidades es lo suficientemente importante como para detenernos por un momento a considerar cuál es el sistema de agua caliente que mejor se ajusta a nuestras circunstancias.

En la actualidad la energía solar térmica ofrece una solución idónea para la producción de agua caliente sanitaria, al ser una alternativa completamente madura y rentable. Entre las razones que hacen que esta tecnología sea muy apropiada para este tipo de usos, cabe destacar los niveles de temperaturas que se precisan alcanzar (normalmente entre 40 y 45 °C), que coinciden con los más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares estándar que se comercializan en el mercado. Además, hacemos referencia a una aplicación que debe satisfacer a lo largo de todo el año, por lo que la inversión en el sistema solar se rentabilizará más rápidamente que en el caso de otros usos solares, como la calefacción, que sólo tienen utilidad durante los meses fríos.

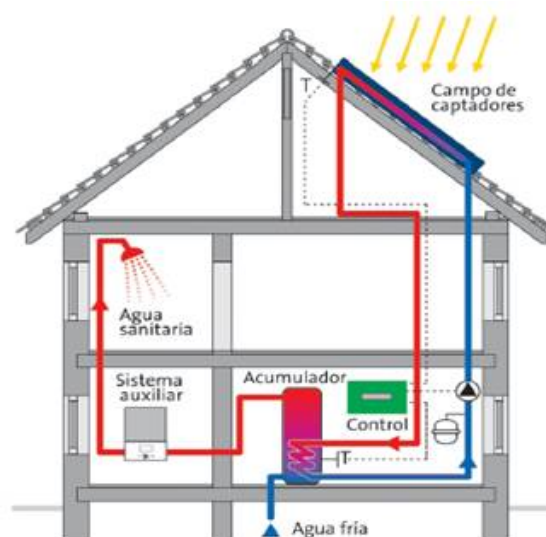


Figura 2.18.- Vivienda con un sistema de energía solar para la producción de ACS (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).

Con los sistemas de energía solar térmica hoy en día podemos cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano y del 50 al 80% del total a lo largo del año; un porcentaje que puede ser superior en zonas con muchas horas de sol al año, como por ejemplo el sur de España.

Para satisfacer la mayor parte de las necesidades de agua caliente, el propietario de una vivienda familiar tendrá que instalar una superficie de captación de 2 a 4 m² y un depósito de 100 a 300 litros, en función del número de personas que habiten en la vivienda y la zona climática española en la que se encuentre.

El grado de desarrollo y comercialización de estos sistemas de producción de agua caliente es tal que ha llevado a esta aplicación a convertirse en la más popular de cuantas ofrece la tecnología solar en nuestros días. Y es que su uso no sólo se limita a las viviendas unifamiliares, sino también a edificios vecinales, bloques de apartamentos, hoteles, superficies comerciales y oficinas.

2.6.2.- Sistemas de calefacción.

La posibilidad de satisfacer, al menos parcialmente, la necesidad de calefacción de edificios por medio de la energía solar constituye siempre un potencial atractivo, máxime si tenemos en cuenta el elevado coste que tiene mantener una temperatura agradable en una vivienda durante los meses de invierno.

Gracias a los ahorros de energía de más del 25% que se pueden llegar a alcanzar, en el centro y en el norte de Europa resulta muy habitual emplear este tipo de instalaciones para cubrir parte de la demanda de calefacción. Además, estos equipos suelen ser compatibles con la producción de agua caliente sanitaria, existiendo elementos de control que dan paso a la calefacción una vez que se han cubierto las necesidades de agua caliente, o bien aprovechando el calor del fluido que circula en el captador para calentar el espacio cuando la calefacción funciona a temperaturas menos elevadas.

El principal inconveniente con el que se encuentran los usuarios que optan por un sistema de calefacción de estas características es la temperatura de trabajo a alcanzar. Mientras las instalaciones de calefacción convencionales abastecen los radiadores de agua con temperaturas entre 70 y 80 °C, los captadores de energía solar de placa plana convencionales (sin ningún tipo de tratamiento selectivo en el absorbedor) no suelen trabajar a temperaturas superiores a los 60 °C, por lo que sólo se utilizan para precalentar el agua.

La mejor posibilidad para obtener una buena calefacción utilizando captadores solares es combinándolos con un sistema de suelo radiante, el cual funciona a una temperatura muy inferior a la de los radiadores (entre 30 y 40 °C), exactamente el rango idóneo para que los captadores trabajen con un alto rendimiento.

Otra opción cada vez más utilizada en zonas de climas fríos es la de instalar captadores de vacío que, aunque resultan más costosos, trabajan a temperaturas superiores a los 70 °C. Este tipo de captadores son los preferidos por chinos, japoneses, norteamericanos o alemanes, al estar especialmente indicados para aplicaciones de apoyo a calefacción por radiadores convencionales. Aunque en España todavía tienen

poca penetración en el mercado, se ha registrado un incremento de la demanda considerable durante los últimos años.



Figura 2.19.- *Vivienda con sistema de calefacción de suelo radiante mediante energía solar (fuente: apuntes de la asignatura de Nuevas fuentes de energía).*

2.6.3.- Climatización de piscinas.

La climatización del agua para piscinas constituye otra aplicación interesante de la energía solar, tanto si se trata de instalaciones cubiertas como a la intemperie. Estas últimas merecen especial atención al existir en gran número y al conseguir resultados más que satisfactorios con sistemas sencillos y baratos.

De hecho, resulta bastante económico lograr una temperatura estable y placentera en piscinas al aire libre. En primer lugar porque, al circular el agua de la piscina directamente por los captadores solares, no es necesario utilizar ningún tipo de intercambiador de calor ni de sistema de acumulación. Y en segundo lugar, porque la temperatura de trabajo suele ser tan baja (en torno a los 30 °C) que permite prescindir de cubiertas, carcassas o cualquier otro tipo de material aislante. De esta manera, se consigue reducir el precio del captador sin excesivo perjuicio en su rendimiento.



Figura 2.20.- *Climatización de piscina a través de un sistema de ACS.*

La utilización de la energía solar para climatizar piscinas cubiertas también es otra opción interesante. Estos sistemas son algo más complejos que los empleados en piscinas al aire libre, pero al mismo tiempo perfectamente compatible con otras aplicaciones de aprovechamiento solar. Lo habitual en estos casos es que se empleen captadores de placa plana con un sistema formado por un doble circuito e intercambiadores combinables con la producción de agua caliente sanitaria y la calefacción.

Las piscinas cubiertas deben contar con una fuente energética de apoyo, a la vez que será recomendable planificar su operación, debido a los largos periodos que se requieren para calentar la totalidad del agua con el sistema solar.

2.6.4.- Refrigeración en edificios.

La demanda energética para la refrigeración de edificios con el fin de lograr unas condiciones de confort aceptables en verano y parte de la primavera y otoño, aumenta considerablemente año tras año en los países desarrollados. Pese a que la mayor parte de instalaciones para acondicionar el ambiente funcionan mediante equipos eléctricos, cada vez existen más opciones en el mercado basadas en energía solar.

El aprovechamiento de la energía solar para producir frío es una de las aplicaciones térmicas con mayor futuro, pues las épocas en las que más se necesita enfriar el espacio coinciden con las que se disfruta de mayor radiación solar. Además, esta alternativa a los sistemas de refrigeración convencionales es doblemente atractiva porque permite aprovechar las instalaciones solares durante todo el año, empleándolas en invierno para la calefacción y en verano para la producción de frío.

Por eso, algunos de los organismos internacionales más representativos en el ámbito de la energía solar térmica, como es el caso de Federación de la Industria Solar Térmica Europea (ESTIF) o la Agencia Internacional de la Energía, dedican gran parte de sus esfuerzos a potenciar la investigación y el desarrollo de estas tecnologías basadas en lo que se ha denominado “frío solar”.

Hoy por hoy existen cerca de 70 sistemas de estas características en Europa, con un área total de captación solar cercana a los 17.000 m² y de una capacidad de energía que ronda los 12 MW. En nuestro país existe un pequeño grupo de fabricantes que demuestran cada vez mayor interés por desarrollar este tipo de soluciones, estando trabajando en el desarrollo de captadores adaptados a esta aplicación, aunque todavía queda mucho camino por recorrer.

Las medidas puestas en marcha por las principales asociaciones del sector, junto a los avances que se han producido durante los últimos años en este campo, permiten ser optimista de cara al futuro. Según las previsiones disponibles en estos momentos, la demanda de refrigeración solar crecerá de manera significativa en los próximos años. Unas expectativas que vienen a corroborar que la tecnología solar para producir frío ya está madura desde el punto de vista tecnológico y ambiental, y lo que es más importante, también desde el punto de vista económico.

De las diversas fórmulas de aprovechar el calor solar para acondicionar térmicamente un ambiente, la más viable en términos de coste de la inversión y ahorro de energía es la constituida por el sistema de refrigeración por absorción, utilizada en el 60% de los casos. El funcionamiento de estos equipos se basa en la capacidad de determinadas sustancias para absorber un fluido refrigerante. Para las máquinas de amoníaco, el agua es el absorbente y el amoníaco el refrigerante. Y en las de bromuro de litio, el absorbente es la sal (BrLi) y como líquido refrigerante emplean el agua.

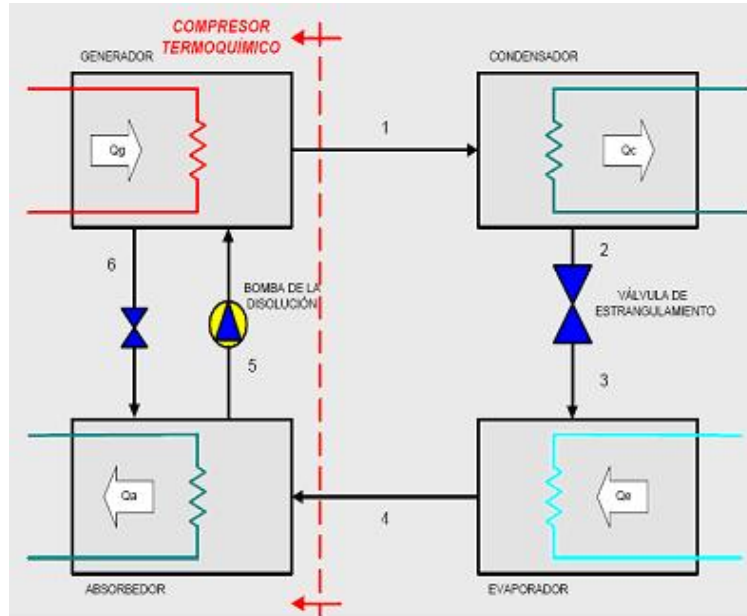


Figura 2.21.- Ciclo de absorción (fuente: apuntes de la asignatura de Energías Renovables).

La diferencia fundamental entre un sistema de refrigeración convencional respecto a los utilizados con tecnología solar radica en la fuente de energía que ambos precisan para operar. En el caso del refrigerador solar por absorción, la energía eléctrica requerida en el sistema de compresión se suplanta por una adición de calor.



Figura 2.22.- Esquema de un refrigerador solar por absorción (fuente: apuntes de la asignatura de Energías Renovables).

2.6.5.- Usos en la industria.

Las posibilidades que ofrece la energía solar térmica son extraordinariamente amplias, apareciendo cada día nuevas aplicaciones para su aprovechamiento. Como no podía ser de otra manera, la energía del Sol también reporta importantes beneficios en el ámbito de la industria, de modo especial en los procesos que requieren un considerable caudal de calor para secar, cocer, limpiar o tratar ciertos productos.

Son muchos los ejemplos en los que la industria se vale de calor solar para desempeñar sus actividades: tintado y lavado de tejidos en la industria textil, procesos de obtención de pastas químicas en la industria papelera, baños líquidos de pintura para la limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas e infinidad de envases, secado de productos agrícolas, tratamiento de alimentos, suelo radiante para granjas o invernaderos, y un largo etcétera.

Entre los sistemas basados en la energía del Sol que más se utilizan con fines industriales debemos hacer hincapié en los secadores solares y el precalentamiento de fluidos:

Secaderos solares. En procesos de secado de semillas, tabaco, etc., así como en procesos de secado de madera, pescado... los sistemas solares ofrecen una solución muy apropiada. Mediante grandes tubos que actúan como captadores solares de aire, es posible precalentar y elevar la temperatura en una planta industrial del orden de 10 a 15 °C, lo que es suficiente en la mayoría de los procesos de secado. En estos ámbitos, los captadores de aire presentan indudables ventajas, al no ser necesario estar pendientes de posibles fugas o problemas de congelación.

Precalentamiento de fluidos. Es factible la utilización de la energía solar (mediante captadores de baja o media temperatura) para el precalentamiento de fluidos, obteniéndose importantes ahorros energéticos. Los elementos y diseños para esta aplicación pueden ser los mismos que los utilizados en agua caliente sanitaria. En consecuencia, se trata de sistemas de aprovechamiento de la energía solar muy similares a los que se emplean en la vivienda.

2.6.6.- Otras aplicaciones.

El aprovechamiento de la energía solar encuentra cada día nuevos usos que amplían el radio de acción a ámbitos más allá de la vivienda o la industria. Gracias al ingenio y perspicacia de algunos fabricantes, continuamente aparecen en el mercado nuevas aplicaciones que parecían impensables sólo hace algunos años. Entre ellas, queremos destacar las cocinas solares, que ya han encontrado utilidad a nivel comercial con equipos portátiles que resultan muy apropiados para pasar un estupendo día de campo al aire libre.

Antes de que se les diera esta utilidad, estos simples artefactos habían sido, y siguen siendo, muy útiles para el cocinado de alimentos y la pasteurización de agua en países subdesarrollados. Las cocinas solares evitan el consumo de grandes cantidades de leña y reducen el riesgo de enfermedades ocasionadas por el mal estado de las aguas en regiones especialmente castigadas por la pobreza en África, Asia o el sur de América.

2.7.- Aspectos económicos.

Durante los últimos años las instalaciones de energía solar térmica no han experimentado una alteración sustancial de precios, ni es previsible que lo hagan en los próximos años. Las posibles rebajas en este tipo de instalaciones pueden venir motivadas por las mejoras en el proceso de fabricación de los captadores solares, o por una disminución de los precios de venta al público como consecuencia del crecimiento de mercado.

El coste de implantación de la energía solar térmica es variable en función de múltiples factores, como pueden ser el tipo de aplicación (piscinas, agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración...), el tamaño de la instalación, la tecnología utilizada (captadores planos o de vacío) o si la instalación se realiza a la vez que la construcción del edificio o se trata de una vivienda edificada. Todos estos factores influyen en el coste final de una instalación.

Con el objetivo de tomar un valor de referencia, en este proyecto nos centraremos en el coste de la energía solar de baja temperatura para el suministro de agua caliente sanitaria: la aplicación más extendida en todo el mundo y la que cuenta con mayor potencial a corto plazo.

A continuación se plantean algunas de las preguntas que se suelen hacer quienes están pensando en instalar un sistema de energía solar en su vivienda, en su comunidad de vecinos, o en el ámbito de la industria.

2.7.1.- ¿Es rentable la energía solar?

La energía proviene del Sol; por lo tanto, lo que supone un desembolso extraordinario es la adquisición y montaje de la instalación para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda, hotel... No obstante, esta inversión se compensará con creces en pocos años, al sustituir una energía convencional por otra mucho más económica. Desde el mismo momento en que pongamos en marcha nuestra instalación solar, la factura del gas o la electricidad destinada a la producción de agua caliente sanitaria bajará. Esto se traduce en ahorros medios de entre unos 75 a 150 euros al año en una economía familiar, en función del combustible que se sustituya.

Otra de las ventajas de la energía solar es que esta tecnología nos ayudará a disminuir nuestra dependencia energética del exterior que, al fin y al cabo, es un buen método de garantizar el suministro de energía con total autonomía. Además, hay que tener en cuenta que esta fuente de energía no está sujeta a fluctuaciones de mercado y que los precios no oscilan en relación al coste de la vida, o cualquier otra circunstancia.

Por todas estas razones, hoy por hoy podemos decir que una instalación solar térmica cuenta con grandes ventajas frente a otros sistemas de abastecimiento y es plenamente rentable en términos económicos. Por si fuera poco, también hay que añadir que sus usuarios pueden acceder a unas buenas condiciones de financiación y a ayudas a fondo perdido de las diferentes administraciones.

2.7.2.- ¿Cuánto cuesta una instalación solar?.

El precio varía según sea una instalación individual o colectiva. Por lo general, el precio medio de una instalación de placa plana oscila entre los 600 y los 800 euros por metro cuadrado (incluyendo el resto de equipamiento y la instalación); este precio disminuye a medida que la instalación solar precise de más metros de superficie captadora o bien se trate de una vivienda nueva donde su incorporación vendrá integrada en el diseño del proyecto.

El tamaño de una instalación dependerá de la demanda de agua caliente sanitaria y de la zona geográfica en la que nos encontremos. A modo de ejemplo, podríamos decir que una vivienda familiar necesitará entre 2 y 4 m² de superficie de captación solar, mientras que una comunidad de vecinos deberá instalar entre 1,5 y 3 m² por familia para configuraciones de sistemas centralizados.

No obstante, a la hora de emprender un proyecto de energía solar es preciso hacer un estudio previo de la demanda energética de la vivienda, hotel, polideportivo, etc, para poder dimensionar el sistema solar que mejor se adapte a las necesidades del edificio en todo momento.

Teniendo en cuenta todas estas variables, podemos asegurar que con los programas de ayudas existentes en las diferentes administraciones, una instalación de energía solar para agua caliente sanitaria viene a costar alrededor de 1.200 euros por vivienda; el valor aproximado de una televisión de plasma o de algunos de los electrodomésticos que utilizamos habitualmente en el hogar.

2.7.3.- ¿En cuánto tiempo se puede amortizar la inversión?.

La vida media de una instalación de energía solar térmica es de unos veinticinco años, aunque actualmente se tiende a diseñar equipos con una duración de treinta años de vida útil.

El plazo habitual de amortización está entre los diez y los quince años. De esta manera, si tenemos en cuenta que la vida útil de la instalación supera los 25 años, se puede decir que tendremos agua caliente de forma gratuita durante mucho tiempo.

2.7.4.- ¿Cuántos son los costes de operación o mantenimiento?.

Una instalación solar bien diseñada y correctamente instalada no tiene por qué ocasionar problemas al usuario. De hecho, las labores de mantenimiento que son necesarias realizar, tienen un alcance parecido a las de cualquier otro tipo de sistemas de calefacción o de agua caliente sanitaria de fuentes convencionales.

Por término medio, los gastos de operación y mantenimiento rondarán los 30-60 euros/año (para instalaciones en viviendas unifamiliares), y suelen disfrutar de una garantía de al menos tres años.

2.7.5.- ¿La energía solar sería competitiva sin subvenciones públicas?.

Existe la falsa creencia de que la energía solar no sería rentable sin las ayudas que ofrece el Estado, las comunidades autónomas, o algunas corporaciones locales. En la actualidad todas las fuentes de energía, tanto las renovables como las tradicionales, están subvencionadas de una u otra forma. Y es que pocas veces se tienen en cuenta los costes externos asociados a las energías convencionales o su impacto ambiental, que tarde o temprano acabamos pagando todos; ya sea a través de gastos en la salud, en compras de derechos de emisiones contaminantes o en desastres ambientales de muy diversa índole.

Además, la energía solar es rentable en sí misma. Lo único que se pretende actualmente es promover el uso de esta fuente de energía mediante ayudas públicas que la hagan aún más atractiva. No olvidemos que el fomento de las energías renovables figura entre los objetivos primordiales de la política energética de nuestro país y de la Unión Europea. ¿La razón? Las ventajas en materia de medio ambiente y la necesidad de diversificar nuestras fuentes de energía ante posibles crisis de suministro.

2.8.- El futuro de la energía solar térmica.

A estas alturas nadie puede poner en duda que la energía solar térmica es una opción más que interesante para abastecer de energía a millones de hogares. El impulso de esta tecnología en los últimos años ha llevado a un grado de implantación muy elevado, demostrando así que esta fuente de energía no sólo resulta muy beneficiosa para cualquier ciudadano, sino que además es una herramienta eficaz para reducir la emisión de gases de efecto invernadero responsables del cambio climático.

Sin embargo, el desarrollo de esta tecnología no es igual en todas las partes del mundo, ni tiene la misma importancia en los distintos países de Europa. Hay un hecho que nos debería hacer reflexionar: Alemania, disponiendo de unos recursos solares muy inferiores a los nuestros, instala cada año entre 600.000 y 900.000 metros cuadrados de captadores, mientras en España esa superficie es de 60.000 a 90.000; es decir, diez veces menos.

Ante esta situación, son cada vez más quienes creen que esta forma de energía renovable debería realizar una contribución mucho más importante de la que aporta en estos momentos. Y es que ha llegado el momento de que nuestro país, con una media de horas de sol envidiables, tecnología más que probada para aprovecharlos y ayudas a la financiación, dé el paso que le corresponde para conseguir que la energía solar térmica abandone su lento ritmo de crecimiento y cobre un papel protagonista y popular en el escenario energético y en nuestras ciudades.

A este cometido se destinan buena parte de los esfuerzos de las Administraciones Públicas contemplados en el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Aunque para que se produzca el despegue definitivo de esta tecnología será necesario contar con la voluntad de todos, desde arquitectos a promotores de viviendas, Ayuntamientos, Comunidades Autónomas y ciudadanos, que como usuarios pueden asumir entre sus demandas la energía solar térmica como sinónimo de calidad de su vivienda y calidad de vida.

2.8.1.- Plan de Energías Renovables en España 2005-2010.

El nuevo Plan de Energías Renovables, PER, aprobado en agosto de 2005 recoge los principales elementos y orientaciones que pueden considerarse relevantes en la articulación de una estrategia para que el conjunto de todas las energías renovables lleguen a cubrir, cuanto menos, el 12% del consumo de energía primaria en el año 2010.

En el caso de la energía solar térmica, el Plan propone el mantenimiento de los objetivos contemplados en ediciones anteriores, por el que se plantea alcanzar en 2010 una superficie total instalada de más de 4.900.000 m². Teniendo en cuenta que a finales de 2004 la superficie era de aproximadamente 700.000 m², el recorrido pendiente es aún largo.

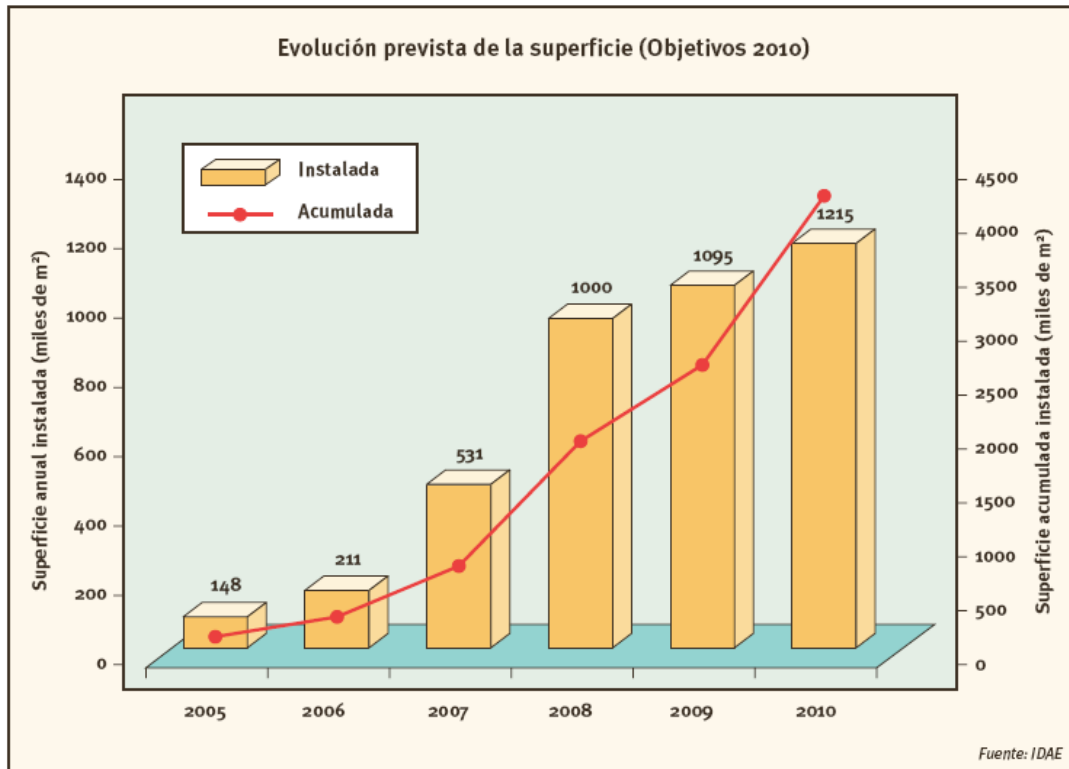


Figura 2.23.- Evolución prevista de la superficie para cumplir los objetivos del PER.

Partiendo de esta base, el parque solar térmico de nuestro país se tendrá que incrementar en 4.200.000 m² (840.000 m² en instalaciones unifamiliares y 3.360.000 m² en instalaciones colectivas), o lo que es lo mismo, multiplicar por siete la capacidad instalada a día de hoy.

Para la consecución de este gran reto la Administración ha puesto en marcha un conjunto de medidas dirigidas a salvar las barreras de carácter económico, tecnológico, normativo y social que existen en la actualidad. El éxito de este objetivo dependerá de la eficacia de las medidas que se recogen en el Plan y que se reproducen a continuación:

- Aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE) durante 2005. Los efectos del mismo se verán durante los años 2008 a 2010.
- Apoyar la intensificación de la puesta en práctica de Ordenanzas Solares Municipales, mediante la difusión de las mismas entre los ayuntamientos.
- Apoyar la aplicación de las Ordenanzas fiscales por parte de los ayuntamientos.
- Aplicación de apoyos públicos a la inversión por valor de 348 millones de € durante el periodo. Esta cantidad global se alcanzará mediante la aplicación simultánea de presupuestos estatales y autonómicos. Se estima que con la aplicación de las medidas anteriores las instalaciones que accederán a ayudas aumentarán hasta un 35%.
- Introducción de una desgravación de la energía solar térmica en el IRPF.

- Formación específica a los técnicos municipales para la evaluación de los proyectos relacionados con el Código Técnico de la Edificación y Ordenanzas Solares Municipales.
- Introducir prescripciones técnicas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y en el Código Técnico de la Edificación.
- Modernización de las líneas de producción de captadores con el fin de adaptarlas a la demanda del mercado.
- Establecimiento de programas específicos para la realización de proyectos innovadores con incentivos adecuados. Apoyar específicamente la refrigeración solar, el desarrollo de equipos de bajo coste, la integración arquitectónica y la extensión del concepto de venta de energía.
- Aparición de guías de diseño y programas de cálculo reconocidos por el RITE dirigidos a instaladores, técnicos municipales y prescriptores (arquitectos, promotores, etc.).
- Realización de fuertes campañas de difusión y formación dirigidas a los ciudadanos.
- Promover que los Planes Generales de Ordenación Urbana establezcan incentivos para la aplicación de la energía solar a climatización, incrementando la edificabilidad.

Comunidades autónomas	PFER* 2000/2005 (m ²)	Situación 2004 (m ²)	PER** 2005/2010 (m ²)	Total 2010 (m ²)
Andalucía	998.486	213.239	910.398	1.123.637
Aragón	88.360	6.686	85.892	92.578
Asturias	42.370	9.022	41.810	50.832
Baleares	545.940	78.362	358.474	436.836
Canarias	612.135	95.731	382.954	478.685
Cantabria	21.696	1.501	20.856	22.357
Castilla y León	265.177	34.646	257.227	291.873
Castilla - La Mancha	297.767	7.845	294.666	302.511
Cataluña	558.570	82.358	489.523	571.881
Extremadura	170.055	3.310	168.181	171.491
Galicia	44.448	8.911	52.900	61.811
Madrid	338.709	56.204	380.123	436.327
Murcia	142.769	19.321	143.903	163.224
Navarra	83.200	12.473	77.405	89.878

La Rioja	20.856	204	20.856	21.060
Comunidad Valenciana	483.746	58.199	389.260	447.459
País Vasco	126.248	4.849	125.572	130.421
	4.840.892	700.433	4.200.000	4.900.433

^aPlan de Fomento de las Energías Renovables.
ⁿⁿPlan de Energías Renovables 2005-2010.
Fuente: Plan de Energías Renovables 2005-2010.
Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE).

Figura 2.24.- *Objetivos de la energía solar térmica para el año 2010 en España.*

2.8.2.- Código Técnico de la Edificación.

Si bien es verdad que se ha perdido un tiempo muy valioso para haber incorporado, vía normativa, la energía solar térmica a los millones de viviendas que se han construido en los últimos cinco años, también lo es que con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, nos situaremos de nuevo en una posición óptima para abordar el despegue definitivo de la energía solar térmica.

El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) establece que todos los edificios de nueva construcción o en rehabilitación deberán tener en cuenta la energía solar térmica en su diseño. Una vez que entre en vigor este reglamento, todas las viviendas deberán conseguir que un porcentaje de la energía utilizada para producir agua caliente sanitaria sea de origen solar térmico que variará entre un 30 y 70% según la demanda de agua caliente sanitaria del edificio y las distintas zonas climáticas en las que se ha dividido España; esta obligatoriedad se ha extendido, además, para la climatización de piscinas.

El Código Técnico de la Edificación se aprobó con el RD 314/2006 de 17 de marzo (BOE 28/03/06), estableciendo un periodo de transición de aplicación voluntaria de 6 meses para la sección HE-4 “*Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*”, pasados estos seis meses será obligatorio para todos los edificios nuevos que se construyan o rehabiliten.

Esta medida supone un importante impulso para el desarrollo de la energía solar térmica en nuestro país porque, a pesar de que actualmente ya se contempla en varias ordenanzas municipales de algunas de las ciudades más importantes de nuestro país (Madrid, Barcelona y Sevilla entre otras), se amplía este criterio a todo el territorio nacional y permite el desarrollo de esta energía, beneficiándose así de sus ventajas un mayor porcentaje de la población.

En opinión de los principales agentes del sector, lograr que se establezcan en España mecanismos regulatorios que aseguren por lo menos el uso de la energía solar térmica en las nuevas viviendas en construcción y en los edificios en rehabilitación es, sin lugar a dudas, una buena noticia que contribuirá de forma decisiva a cumplir con los objetivos fijados en nuestro país para 2010.

Pero el CTE no se queda únicamente en la pretensión de generalizar el uso de la energía solar en el ámbito de la vivienda, yendo un paso más allá. Este nuevo reglamento, que ha sido uno de los principales objetivos del nuevo Ministerio de Vivienda, también incluye otras medidas encaminadas a disminuir la demanda energética en los edificios y promover el ahorro en los mismos. No en vano, hay que tener en cuenta que la calefacción y la refrigeración de las viviendas residenciales en España consumen actualmente en torno al 60% del consumo energético de una familia; un dato que resulta demasiado elevado si se compara con los índices registrados en otros países de nuestro entorno.

Para evitar este exceso de consumo de los sistemas de refrigeración y calefacción de las viviendas, el CTE propone la reducción de las necesidades energéticas de un edificio en un 20%, independientemente de la zona climática donde se encuentren. La manera de reducir el consumo de energía en los nuevos edificios no se especifica en este reglamento y queda a juicio del constructor cuál debe ser la orientación más adecuada de la vivienda, así como la elección de materiales o la cantidad de aislamiento a colocar en cada caso.

2.8.3.- Ordenanzas Municipales.

Al intento de acercar los beneficios energéticos del sol al ciudadano se suman también muchos ayuntamientos y corporaciones locales. En la actualidad más de 50 municipios, de los más de 8.000 existentes, contemplan ayudas específicas a la instalación de sistemas solares térmicos. Entre los municipios que tienen ordenanzas aprobadas destacan las capitales de Barcelona, Madrid, Sevilla, Granada, Burgos, Ceuta y, recientemente, Valencia, con lo que unos 8 millones de ciudadanos pueden disfrutar de este tipo de bonificaciones en su localidad.



Figura 2.25.- Ordenanzas municipales en España.

La provincia de Barcelona representa un ejemplo especialmente notorio, al contar con más de 25 municipios que ya han apostado por esta vía de incentivos a la energía solar.

2.8.4.- Ventajas fiscales.

A través de la Ley 24/2001, de 27 de diciembre (para las grandes empresas que cumplan el artículo 122 del Impuesto de Sociedades), ampliada en su ámbito de aplicación (para toda tipología de empresas) mediante el Real Decreto Ley 2/2003, cualquier empresa que invierta en energía solar térmica tiene la posibilidad de deducción del 10% de la inversión. Todo este conjunto de beneficios fiscales para empresas se ha refundido en el Real Decreto Legislativo 4/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Impuesto de Sociedades (BOE 11/3/04).

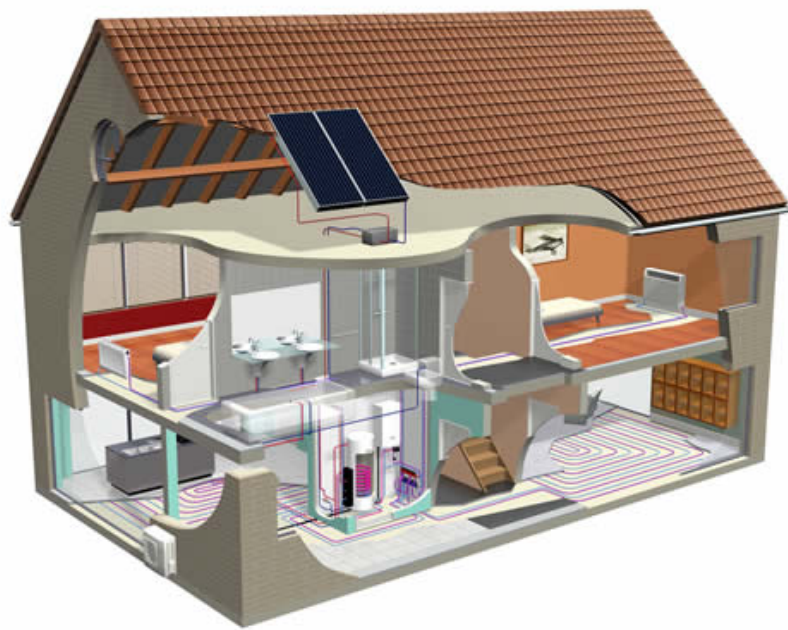
Sin embargo los particulares, que constituyen con gran diferencia el potencial más importante y que deben contribuir mayoritariamente a conseguir el objetivo del PER, no cuentan todavía con deducciones en el IRPF; un aspecto en el que se pretende avanzar en los próximos años.

Los ayuntamientos, por otro lado, tienen la posibilidad de aplicar bonificaciones opcionales a los vecinos que ejecuten una instalación de energía solar térmica, consistentes en:

- Reducción de hasta un 50% del Impuesto de Actividades Económicas.
- Reducción de hasta un 50% en el Impuesto de Bienes e Inmuebles.
- Reducción de hasta un 95% del Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras.

Estos beneficios fiscales opcionales están contemplados en el Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales (BOE 9/3/04).

3. Descripción de una instalación solar térmica para la producción de ACS



3.1.- Cómo se aprovecha la energía solar.

La energía solar térmica aprovecha la radiación del Sol para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar los rayos solares en calor es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable.

En el caso de una instalación térmica, los captadores solares se valdrán de superficies de color oscuro para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible. Así, en días soleados, bastará con que los rayos solares incidan directamente sobre nuestro sistema de captación para obtener el aporte energético que necesitamos para su uso en muy diversas aplicaciones. Eso sí, habrá que evitar que la energía obtenida pueda perderse instantes después si realmente queremos sacar provecho de esta fuente de energía tan beneficiosa para el ciudadano por sus ventajas medioambientales y su grado de autonomía.

Con el objetivo de evitar fugas de energía, los sistemas de captación solar imitan los procesos naturales que tienen lugar en la Tierra, donde la radiación solar atraviesa con facilidad nuestra atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre. Cuando la tierra y el mar se calientan por este motivo, irradian la energía que han absorbido en longitudes de onda más largas. Parte de la radiación de onda larga vuelve a la atmósfera, que la absorbe y la reirradia de nuevo a la superficie terrestre en un efecto rebote. Esto es lo que se conoce como “efecto invernadero”, un fenómeno que impide, entre otras cosas, que la temperatura de la Tierra pueda ser de 30 a 40 °C más baja de lo que es en la actualidad.

Este mismo fenómeno, a otra escala más modesta, es el que se aplica en los invernaderos para el cultivo de plantas y, por supuesto, en los sistemas de captación de energía solar. El cristal, como la atmósfera de nuestro planeta, tiene la propiedad de ser atravesado fácilmente por las ondas cortas de los rayos solares, al mismo tiempo que se comporta como un “muro” impenetrable ante las radiaciones de onda larga. Cuando los rayos solares atraviesan una superficie acristalada se produce un aumento de temperatura en el interior del habitáculo. Entonces, el cristal actuará como una trampa de calor que impedirá que la energía calorífica pueda salir al exterior.

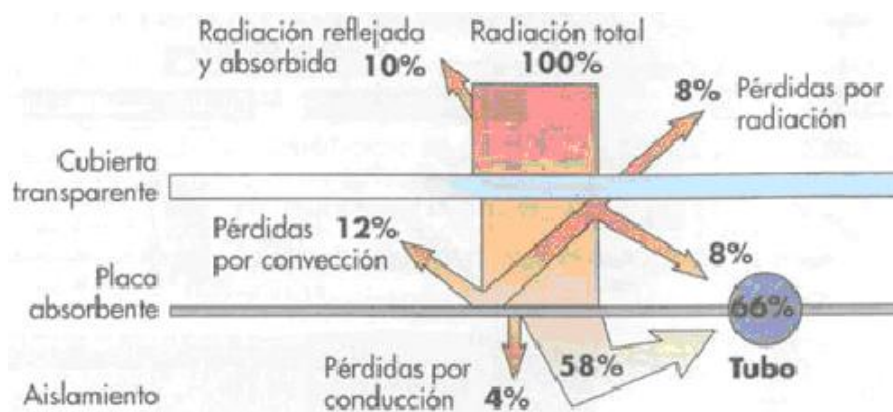


Figura 3.1.- Pérdidas que se producen en un colector plano (fuente: EurObservER).

Cualquier sistema de captación solar se basará, pues, en combinar el “efecto de cuerpo negro” con el “efecto invernadero”, con lo que, por un lado, se consigue aprovechar gran parte de la radiación que llega hasta una instalación solar, y por otro, impedir la fuga de calorías una vez ganadas.

3.2.- Principio de funcionamiento de un sistema ACS.

El principio elemental en el que se fundamenta cualquier instalación solar térmica es el de aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento, que abastece el consumo cuando sea necesario.

Normalmente, el colector solar se instala en la cubierta del edificio y orientado de tal manera que la captación de energía solar sea máxima para su superficie, por ello dependiendo de la ubicación del lugar donde se ha instalado, se optimiza su orientación hacia el Sur, y con cierta inclinación con respecto a la vertical para lograr la mayor captación de la radiación solar.

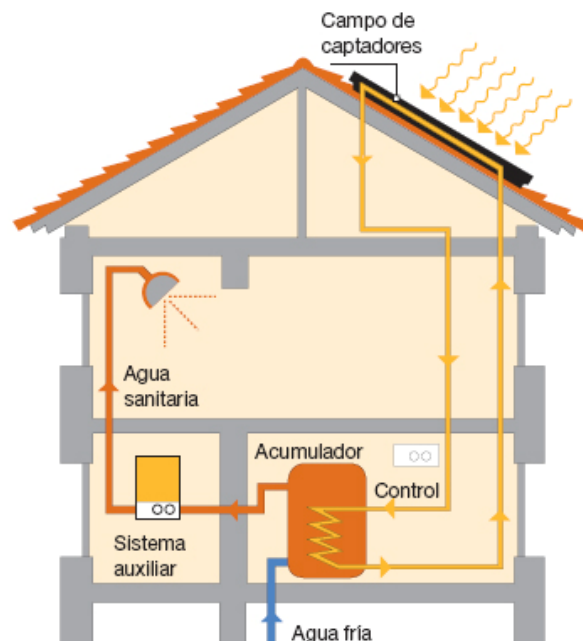


Figura 3.2.- Vivienda con instalación solar térmica para el suministro de ACS (fuente: Saunier Duval).

Se pretende en el futuro que algunas instalaciones formen parte integral de la fachada e incluso sean dispuestos horizontalmente sobre la cubierta para lograr una estética aceptable.

Este mecanismo tan sencillo al mismo tiempo que eficaz, resulta muy útil en múltiples aplicaciones, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial. Baste con señalar algunas de ellas como el agua caliente para uso doméstico, el aporte de energía para instalaciones de calefacción, el calentamiento de agua para piscinas, o el precalentamiento de fluidos en distintos procesos industriales, para darnos cuenta del beneficio de esta energía para la humanidad.

Así, la posibilidad de captar la energía del Sol desde el lugar que se necesita, junto con la capacidad de poder almacenarla durante el tiempo suficiente para disponer de ella cuando haga falta, es lo que hace que esta tecnología sea tan ampliamente aceptada en muchas partes del mundo. No en vano, la única contribución del hombre para aprovechar esta fuente de energía es canalizar y retrasar el proceso natural que ocurre a cada instante en la superficie terrestre, por el que la radiación solar se convierte en energía térmica.

El procedimiento actual que se lleva a cabo en cualquier instalación solar consiste en absorber la energía térmica contenida en los rayos solares. Una vez que el fluido que circula en el interior del captador se calienta, hay que evitar su enfriamiento a través de un aislamiento térmico lo más eficaz posible. Por ejemplo, si el fluido de trabajo es el aire, se le puede hacer circular entre piedras que se calientan y son capaces de devolver este calor al aire frío. También se puede, y es el caso más habitual, mantener el calor de una masa de agua por medio de un tanque de almacenamiento bien aislado.

Ahora bien, cualquiera que sea el procedimiento utilizado, lo cierto es que se puede pensar en acumular cantidades importantes de energía durante largos periodos de tiempo (almacenamiento estacional). No obstante, los depósitos de almacenamiento terminan por perder la energía térmica conseguida a lo largo del tiempo, por lo que el funcionamiento de nuestra instalación también estará condicionado por la cantidad de radiación solar que llega hasta el captador y por la demanda de energía de cada momento. Generalmente se dimensiona para que la acumulación solar sea la demandada por los usuarios en un día.

Para evitar posibles restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto, casi la totalidad de los sistemas de energía solar térmica cuentan con un aporte de energía extraordinario. En estas ocasiones, entrará automáticamente en funcionamiento un sistema de calentamiento auxiliar que permite compensar el déficit existente. Este sistema de apoyo utilizará los medios energéticos convencionales, como el gas, la electricidad o el gasóleo.

En la actualidad, una instalación de energía solar cubre del 50 al 80% del total de la demanda de agua caliente sanitaria de una vivienda, aunque en zonas de gran soleamiento a lo largo del año (por ejemplo el sur de España), el porcentaje de aporte puede ser superior. El resto se suple con un sistema de apoyo energético.

Este sistema representa el modo más económico de obtener agua caliente en países soleados, como es el caso de España, en el que la práctica totalidad de los hogares dispone de algún sistema de agua caliente con instalaciones eléctricas o gas natural, que puede complementar al solar por las razones ya explicadas.

La disponibilidad de recursos energéticos suficientes es uno de los factores más importantes en el desarrollo económico de las naciones y en el caso de España se cuenta con abundante radiación solar y espacio suficiente para instalar dispositivos para su captación. A pesar de ello, el desarrollo de la energía térmica solar en general no se encuentra al nivel de otros países con igual o menor potencial en este aspecto, como Grecia, Alemania o Francia. Esto debe ser un incentivo para continuar su desarrollo e investigación.

Adquirir una instalación de este tipo es una manera de eliminar los riesgos, costos y daños que crea el consumo de combustibles fósiles o nucleares. Su coste es competitivo en comparación con las otras formas actuales de calentamiento de agua. Existen incentivos económicos de las Comunidades Autónomas y del Gobierno central para su implantación, ya que implica un importante ahorro energético en cuanto al menor uso de dichos combustibles fósiles y electricidad y un importante ahorro de emisiones de CO₂.

Para una vivienda por, por habitante, se estima que son necesarios entre 1 y 2 m² de colectores para cubrir aproximadamente un 60 – 70% de la demanda de ACS (fuente: Censolar). La vida útil de estas instalaciones es superior a los 20 años si se ha procedido a un correcto proyecto y ejecución de la instalación y si se les da un correcto uso siguiendo los programas de mantenimiento adecuados para cada año.

La idoneidad de las instalaciones de ACS solar se encuentra en edificios de comunidad de propietarios, pues se comparten gastos. En viviendas unifamiliares es muy popular el denominado “compacto”, que es un colector inclinado con un depósito acumulador integrado. De esa manera no es necesario ocupar un espacio útil en la vivienda y se minimizan los costes de instalación.

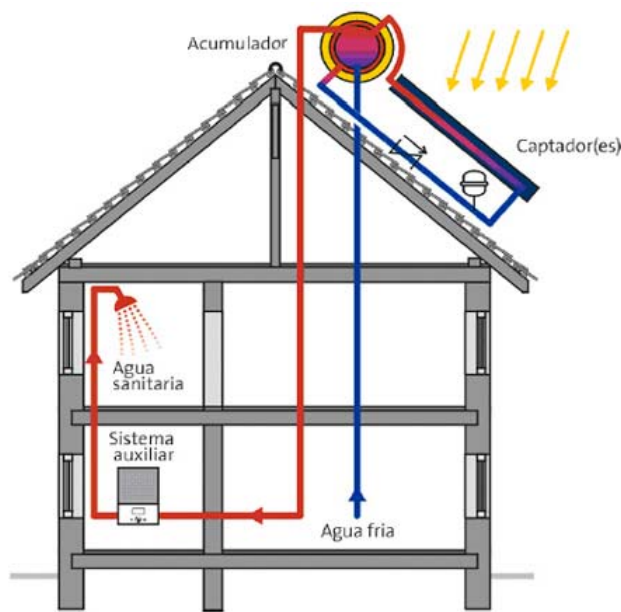


Figura 3.3.- Vivienda con un sistema de captadores compacto (fuente: Saunier Duval).

Actualmente en España hay instalados aproximadamente 700.000 m² de energía solar térmica, según cifras del IDAE, ocupando el sexto lugar de Europa en extensión. Las directivas europeas y los planes nacionales prevén crecimientos muy sustanciales para cumplir con el objetivo de un mayor consumo de energías renovables.

3.3.- Sistemas de captación.

La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

- **Dispersión:** su densidad apenas alcanza 1 kW/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- **Intermitencia:** hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada. Ello lleva a un replanteamiento en el aprovechamiento de la energía, totalmente distinto al clásico, lo que requiere un gran esfuerzo de desarrollo.

Así pues, el primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos tipos de sistemas:

- Aquellos que no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, cuyo aprovechamiento se logra aplicando distintos elementos arquitectónicos.
- Aquellos que captan la radiación solar por medio de un elemento de determinadas características, llamado “colector”; según sea éste se puede llevar a cabo una conversión térmica (a baja, media o alta temperatura), aprovechando el calor contenido en la radiación solar, o bien una conversión eléctrica, aprovechando la energía luminosa de la radiación solar para generar directamente energía eléctrica por medio del llamado “efecto fotovoltaico”.

El colector es una superficie, que expuesta a la radiación solar, permite absorber calor y transmitirlo a un fluido. Existen dos técnicas diferentes en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora.

- *Baja temperatura:* captación directa, la temperatura del fluido esta por debajo del punto de ebullición
- *Media temperatura:* captación de bajo índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 100°C .

3.3.1.- Sistema de BAJA temperatura.

Generalmente el aprovechamiento térmico a baja temperatura se realiza a través de colectores planos, cuya característica común es que no tienen poder de concentración, es decir la relación entre la superficie externa del colector y la superficie captadora, la interior, es prácticamente la unidad.

La energía solar denominada de baja temperatura es la que acostumbramos a utilizar en el ámbito doméstico y suele instalarse en azoteas de vivienda o edificios comerciales. El procedimiento en el que se basan estos sistemas de captación solar es muy simple, pero a la vez de gran utilidad para el hombre por los servicios que ofrece en multitud de aplicaciones.

Por aprovechamiento de baja temperatura se entiende todos aquellos sistemas de energía solar en los que el fluido calentado no sobrepasa los 100 °C. Estas instalaciones se caracterizan por emplear como elemento receptor de energía un captador fijo de placa plana o un captador solar de vacío.

Como ya se ha comentado en anteriores ocasiones, entre las utilidades más extendidas basadas en esta fuente de energía de baja temperatura figuran la producción de agua caliente sanitaria, la calefacción de edificios, la climatización de piscinas, etc.

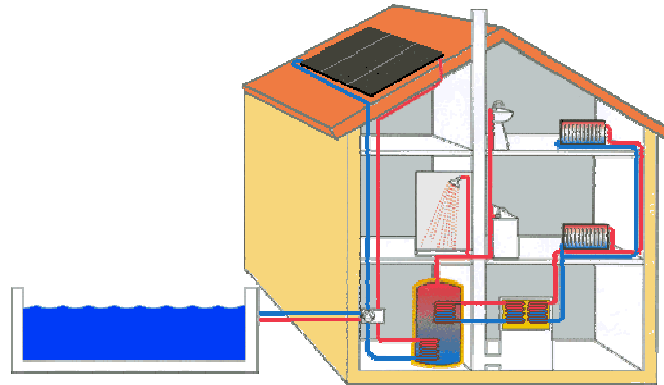


Figura 3.4.- Vivienda con paneles solares térmicos para la producción de ACS, calefacción y climatización de piscina (fuente: Saunier Duval).

3.4.- Descripción de la instalación solar.

El esquema general de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria está compuesto por los siguientes circuitos:

- 1) **Circuito primario:** formado por los captadores y las tuberías que los unen, en el que el fluido de trabajo recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambiador de calor.
- 2) **Circuito secundario:** en el que se recoge la energía captada en el circuito primario a través de un sistema de intercambio y se transfiere al sistema de acumulación.
- 3) **Circuito de consumo:** que parte de la red de alimentación de agua fría y llega a los puntos de consumo.

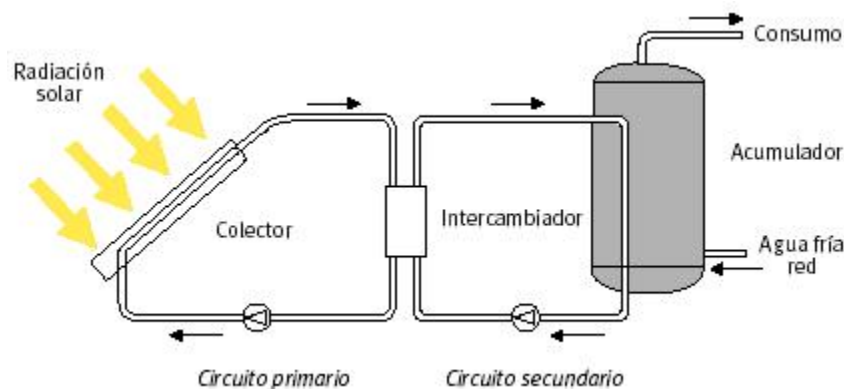


Figura 3.5.- Esquema de un sistema para la producción de ACS (fuente: apuntes de la asignatura Energías renovables).

Una instalación solar térmica consta de los siguientes sistemas de funcionamiento:

- 1) Sistema de captación: transforma la radiación solar incidente en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido de trabajo.
- 2) Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor entre el fluido de trabajo que circula por el circuito primario y el agua que circula por el circuito secundario.
- 3) Sistema de acumulación: almacena la energía térmica en forma de agua caliente.
- 4) Sistema de transporte: hace circular el fluido de trabajo por el circuito primario y el agua de consumo a través del circuito secundario y del circuito de consumo.
- 5) Sistema de control: encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación solar.
- 6) Sistema de energía de apoyo: complementa el aporte solar suministrando la energía adicional necesaria para cubrir la demanda prevista.

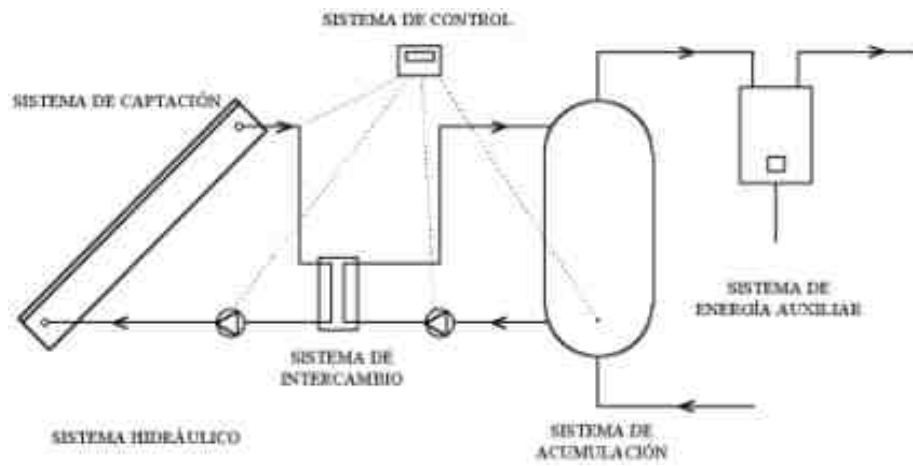


Figura 3.6.- *Sistemas de funcionamiento de una instalación solar (fuente: CTE).*

3.5.- Componentes principales.

Según el **DTIE 8.03** “*Instalaciones Solares Térmicas para Producción de Agua Caliente Sanitaria*”, una instalación solar térmica consta fundamentalmente de los siguientes componentes.

3.5.1.- Captador solar.

Se han diseñado distintas y avanzadas versiones de captadores solares térmicos con el objetivo de incrementar la cantidad de energía absorbida y disminuir las pérdidas. Aunque los más comunes son los captadores planos, que utilizan como fluido el agua, en la actualidad también se comercializan otros tipos de captadores que cuentan con gran aceptación en el mercado. Entre ellos cabe destacar el captador solar de vacío, que consigue temperaturas más elevadas de funcionamiento, y los captadores solares de aire, que se utilizan fundamentalmente en los climas fríos para calentar el espacio.

A continuación se detallan algunas de las características de los captadores solares más empleados hoy en día para aprovechar la energía térmica de baja temperatura; o sea, la que se utiliza convencionalmente para uso doméstico y que trabaja con temperaturas que no sobrepasan los 100 °C de temperatura.

El principio de funcionamiento del captador plano se basa en una “trampa de calor” que conjuga el “efecto de cuerpo negro” con el “efecto invernadero”. Gracias a este sistema de captación se consigue absorber la mayor parte de la radiación solar que llega hasta la superficie y devolver la menos posible.

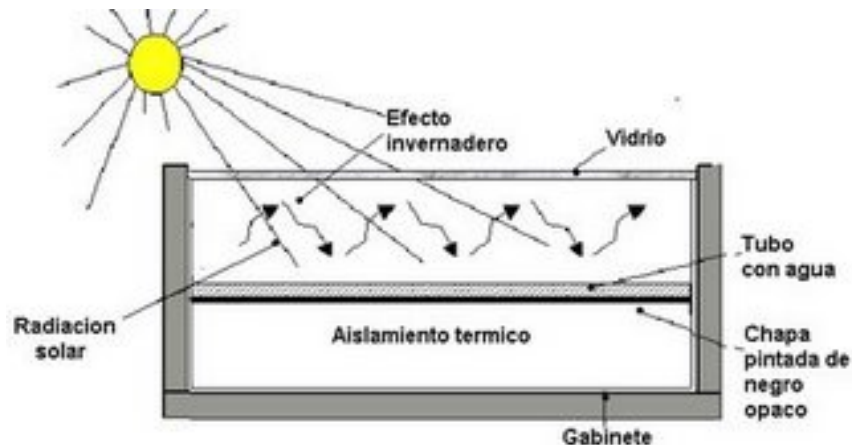


Figura 3.7.- Principio de funcionamiento del captador plano (fuente: apuntes de la asignatura Energías Renovables).

Los captadores planos, destinados por lo general a la producción de agua caliente sanitaria, están recubiertos de una caja herméticamente cerrada. En la cara superior de esta caja se coloca una superficie acristalada que deja atravesar la radiación solar e impide que se pierda la ganancia térmica obtenida. Generalmente la carcasa que envuelve al equipo de captación es metálica, aunque en algunos casos puede ser de plástico especial o de algún otro material.

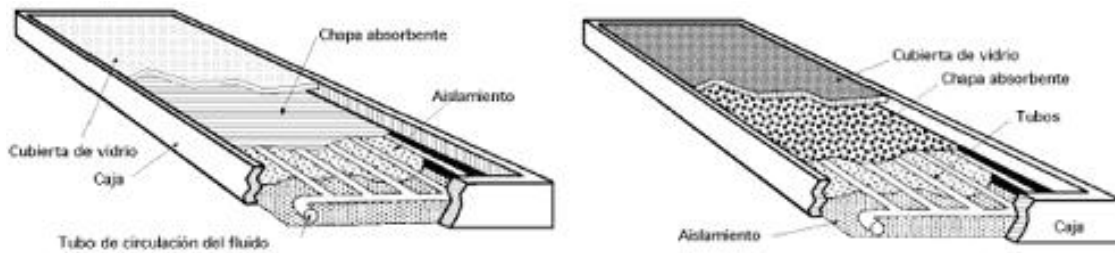


Figura 3.8.- Vista seccionada de un colector plano (fuente: apuntes de la asignatura Energías Renovables).

En el interior del sistema captador se encuentra la placa absorbedora, que es el lugar donde se realiza la captación de la radiación solar propiamente dicha. Fabricada con materiales que conducen bien el calor (aluminio, cobre, planchas metálicas...), esta placa tiene un funcionamiento parecido al de un radiador: con una disposición de tubos que cuentan con una toma por donde entra el fluido a calentar y otra de salida.

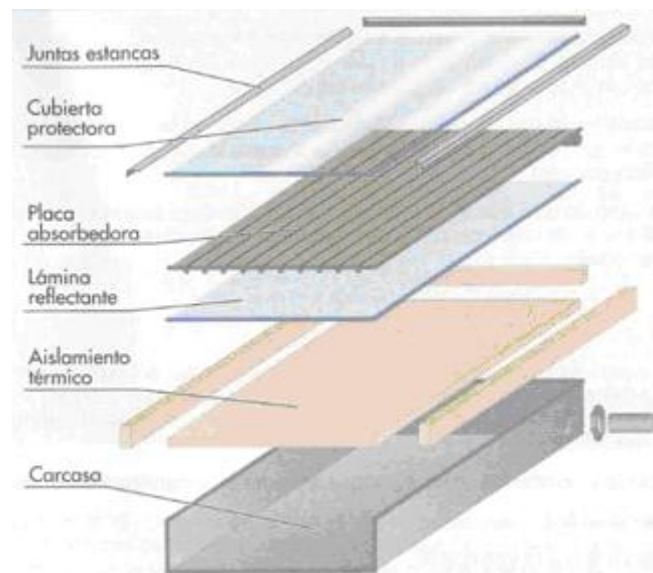


Figura 3.9.- Esquema de un colector plano típico (fuente: apuntes de la asignatura Energías Renovables).

Pese a que existe un gran número de diferentes configuraciones de tubos internos, los tradicionales suelen utilizar los de tipo serpentina o los de tubo paralelo. Estos consisten en varios tubos de cobre, orientados en forma vertical con respecto al captador, en contacto con una placa de color oscuro que transfiere el calor al fluido circulante. El contacto entre la placa absorbedora y el tubo por donde circula el fluido no tiene porqué ser un elemento crítico del captador siempre que esté bien sellado con cualquiera de las técnicas de soldadura disponibles en estos momentos en el mercado.

Las dimensiones de los captadores solares son muy diversas y van desde los $0,5 \text{ m}^2$ los más pequeños, hasta los 8 m^2 los más grandes, siendo la medida más habitual en torno a los 2 m^2 .



Figura 3.10.- *Captador solar plano (fuente: sonnenkraft).*

En cuanto al rendimiento de los captadores solares, resulta difícil precisar qué cantidad de energía se podrá obtener en cada momento, puesto que este tipo de captadores de baja temperatura carecen de cualquier forma de seguimiento de la posición del Sol a lo largo del día, y captan tanto la radiación directa como la difusa con resultados muy variables.

La expresión general del rendimiento para un colector plano viene dada por la siguiente ecuación.

$$\eta_c = \frac{Q_u}{I_{gl} A}$$

donde:

Q_u : calor útil transmitido al fluido por unidad de tiempo.

I_{gl} : radiación global (directa + difusa) recibida por unidad de tiempo y por unidad de área del captador.

A : área de captación del colector solar.

Los siguientes coeficientes deberán ser elevados para obtener buenos rendimientos.

- Transmitancia a través de la cubierta transparente (τ).
- Absortancia del absorbedor (α).
- Transferencia de calor de la placa al agua.

La ecuación del rendimiento cuando el colector se encuentra en régimen permanente es:

$$\eta_c = F(\tau\alpha) - F U_{co} \frac{\left(\frac{t_{sco} + t_{eco}}{2} \right) - t_{amb}}{I_{gl}}$$

donde:

U_{co} : coeficiente global de pérdidas (convección y radiación).

F : factor de calor transferido.

t_{sco} : temperatura del agua a la salida del colector.

t_{eco} : temperatura del agua a la entrada del colector.

t_{amb} : temperatura media del ambiente durante las horas de sol.

En líneas generales, la eficiencia de los captadores solares vendrá definida por su curva de rendimiento, que permite saber cuál es la cantidad de energía que podremos aprovechar en cada situación (tal y como se puede apreciar en la figura). Al respecto, existe una normativa oficial para la homologación de estos equipos en la que se evalúa la curva característica de los diferentes modelos. Esta valoración se realiza sobre captadores nuevos, y de forma puntual, no siendo representativa del comportamiento del captador a lo largo de su vida útil, ya que su eficacia podrá evolucionar de diferente manera con el paso del tiempo, en función de su mantenimiento, etc.

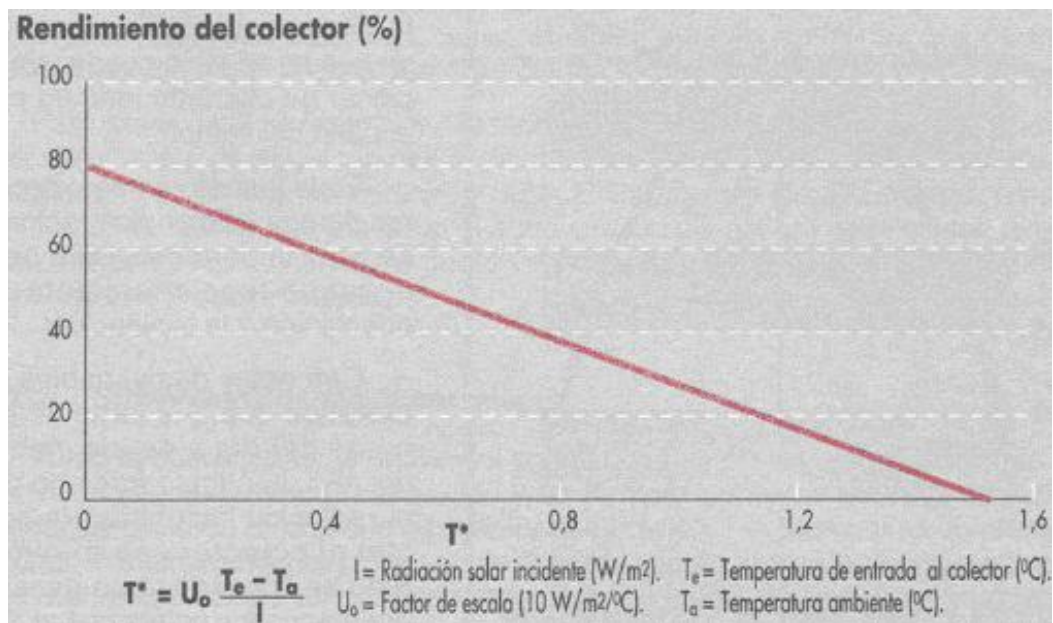


Figura 3.11.- Curva de rendimiento de un colector plano (fuente: sonnenkraft).

Similares a los captadores planos, los captadores solares de vacío pueden llegar a ser más eficientes en unos determinados rangos de temperatura, aunque también más costosos. Estos captadores consiguen sacar el máximo provecho a las instalaciones térmicas, que trabajan a temperaturas por encima de los 60 °C. Los captadores de vacío están consiguiendo gran popularidad en climas fríos y en el sureste asiático; sobre todo en China, uno de los países con más tradición en la generación de vatios térmicos de energía solar.

La principal diferencia respecto a los planos reside en los conductos que absorben la energía del Sol. Éstos están recubiertos de un tubo al vacío que deja pasar la radiación solar, a la vez que evita las pérdidas de energía con mayor precisión que otros sistemas de captación.

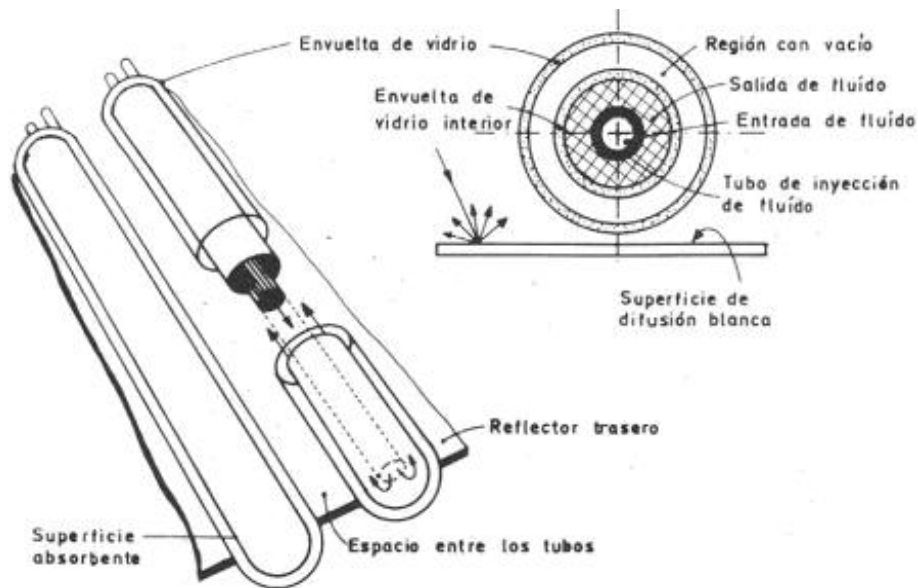


Figura 3.12.- Esquema de un colector solar de vacío (fuente: sonnenkraft).

No obstante, dentro de los captadores de vacío se han desarrollado distintas tecnologías y existe una gran variedad de calidades y precios. En cualquier caso, a la hora de decantarnos por uno u otro captador, lo primero a considerar es cuál de ellos se adapta mejor a nuestras circunstancias y para qué aplicación lo vamos a utilizar.



Figura 3.13.- Panel solar formado por captadores de vacío (fuente: sonnenkraft).

En general, para las condiciones medias de España y para la producción de agua caliente sanitaria, los captadores planos son suficientes para dar servicio en unas condiciones óptimas para un aporte del 50-80%.

3.5.2.- Acumulador.

Sin duda, la energía que se recibe del Sol no siempre coincide con el momento de mayor consumo. Por ese motivo, si se quiere aprovechar al máximo la energía que nos concede el Sol, será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día que más radiación existe, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.



Figura 3.14.- *Tanque de almacenamiento típico.*

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor en depósitos especialmente diseñados para este fin. Según las características específicas del tanque de almacenamiento y los materiales con los que haya sido fabricado, podremos conseguir guardar las calorías ganadas durante más o menos tiempo; desde unas horas (ciclo de la noche al día), hasta dos días como máximo.

Por norma general, darán mejores resultados aquellos depósitos que tienen forma cilíndrica, en proporciones de uno de ancho por dos de alto. Esto se debe al fenómeno de estratificación por el que el agua caliente disminuye su densidad y tiende a ascender por encima del agua fría, que pesa más. Cuanto mayor sea la altura del depósito, mayor será también la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del tanque de almacenamiento.

Del mismo modo, también será importante tener en cuenta la capacidad de acumulación del depósito a utilizar, que deberá mantener un equilibrio conforme a la superficie de captación solar. Si el depósito fuera demasiado pequeño se desperdiciaría parte de la energía obtenida, mientras que si fuera demasiado grande no conseguiríamos alcanzar las temperaturas adecuadas de funcionamiento.

Por eso existe una proporción adecuada entre los metros cuadrados de la superficie de captación y las dimensiones del tanque de almacenamiento. El depósito de acumulación más apropiado para los niveles de radiación que se dan en España y para

agua caliente sanitaria, es el de 60 litros por metro cuadrado en las regiones con menos horas de sol y de 100 litros por m² en las zonas con mayor intensidad de soleamiento.

Pueden encontrarse muchos tipos de depósitos para agua caliente en el mercado, siendo los materiales de construcción más adecuados el acero, el acero inoxidable, el aluminio y la fibra de vidrio reforzado. La adecuada elección del material de construcción tiene especial importancia porque uno de los problemas más importantes de las instalaciones solares es la calidad del agua, que puede producir corrosiones en el tanque de almacenamiento. En general no es aconsejable efectuar una instalación solar con dos materiales de distinta naturaleza, ya que se favorece la creación de pares galvánicos.

La corrosión puede prevenirse también mediante sistemas electrónicos especificados en las características de diseño, o insertando el denominado “ánodo de sacrificio” que debe ser cambiado periódicamente.

Los depósitos acumuladores, con el fin de disminuir las pérdidas, están recubiertos de un material aislante, pudiendo además recubrirse con una funda para incrementar su durabilidad.

Los valores de temperatura en una instalación solar térmica varían continuamente pudiendo llegar a alcanzarse valores superiores a 100°C en los acumuladores. Estos valores dependen de las características de la instalación, localidad, sistema de control, etc. Por tanto, los materiales y protecciones interiores empleados en los acumuladores han de seleccionarse considerando los niveles máximos de temperatura que se pueden llegar a alcanzarse en estos.

Para disminuir las pérdidas térmicas ha de cubrirse toda la superficie exterior del acumulador, tuberías y bocas de conexión con material aislante adecuado. En caso de que el acumulador esté situado en el exterior, ha de ser también resistente a la humedad y a la radiación solar, o se ha de colocar sobre él algún tipo de recubrimiento exterior resistente a estos factores. También se recomienda emplear acumuladores en los que el cociente entre la superficie exterior y el volumen sea bajo; en este sentido resulta más adecuado el empleo de un único acumulador frente a varios.

Fenómeno de estratificación.

Cuando un acumulador se encuentra estratificado la temperatura del mismo es función de su altura vertical, decreciendo la temperatura de la parte superior a la inferior.

La calidad de la estratificación viene dada por los procesos de:

- Calentamiento o carga térmica.
- Mezcla por circulación interna o durante la descarga térmica.
- Degradación por transferencia térmica.

En estos procesos tienen gran importancia la configuración del acumulador, la situación de las conexiones y las velocidades de circulación del fluido en el interior.

La eficiencia de una instalación solar aumenta al hacerlo la estratificación de temperaturas alcanzadas en el acumulador porque:

- Cuando existe consumo de agua caliente, al estar el agua más caliente en la parte superior, es ésta la que va primero hacia el consumo consiguiéndose por tanto trasvasar el agua a mayor temperatura y retardar, en su caso, la activación del sistema de apoyo.
- El agua almacenada en la parte inferior se encuentra a menor temperatura por lo que el agua que va desde el acumulador hasta los captadores o el fluido de trabajo que va desde el intercambiador hacia los captadores también está a menor temperatura. En ambas situaciones la temperatura de entrada a captadores es más baja y por tanto el rendimiento de éstos aumenta.

3.5.3.- Intercambiador de calor.

En las instalaciones solares se puede emplear intercambiadores de calor para aislar e independizar el circuito primario, independizar el circuito de consumo y, en algunos casos, realizar ambas funciones a la vez.

En una instalación solar la temperatura de entrada se encuentra en variación continua, pudiendo llegar a alcanzar valores muy altos. Estos calores alcanzados en el circuito primario pueden tener reflejo en los circuitos secundario y de consumo, gracias al intercambiador.

El empleo de un intercambiador de calor que separe el circuito primario del agua de consumo limita las deposiciones calcáreas en el circuito primario (especialmente en el sistema de captación) a la cantidad de cal contenida en el volumen de agua que circula por este circuito.

Por razones de localización geográfica se hace necesaria la utilización de anticongelantes en el circuito primario para evitar daños en la instalación a causa de las heladas. Para evitar el mezclado del anticongelante con el agua que se va a emplear para uso doméstico se coloca un intercambiador de calor entre el circuito primario y el secundario. De este modo, en el circuito primario circula agua mezclada con anticongelante y en el circuito secundario circula el agua destinada para el consumo y el intercambiador es el encargado de transmitir el calor captado por el circuito primario al secundario.

Adicionalmente, la utilización de un intercambiador presenta la ventaja de disminuir los riesgos de corrosión en los circuitos cerrados ya que el contenido de oxígeno disuelto en agua se encuentra limitado. Este oxígeno es uno de los principales responsables de la corrosión en los sistemas de captación, si bien también se han de tomar precauciones en la selección de los materiales empleados en el correspondiente circuito.

En cuanto a la localización física del intercambiador, podemos encontrarlos alojados dentro del tanque de almacenamiento o en el exterior.

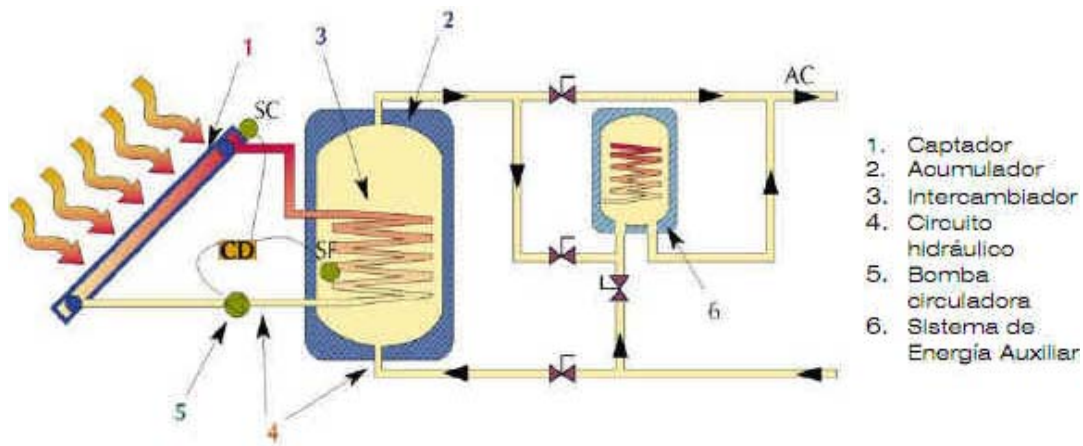


Figura 3.15.- Sistema de producción de ACS con el intercambiador de calor alojado en el interior del tanque de almacenamiento (fuente: apuntes de la asignatura Energías Renovables).

La temperatura en la salida de los captadores puede ser afectada de forma muy brusca por las condiciones climatológicas. En los sistemas en los que el intercambiador independiza el circuito primario, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Al dimensionar el intercambiador se ha de tener en cuenta que este ha de transferir toda la potencia térmica generada en el sistema de captación. En este sentido se considera habitualmente un rango de potencia térmica en m^2 de captador solar comprendido entre 500 y 600 W/m^2 .
- 2) En este dimensionado se han de seleccionar los caudales de los circuitos primario y secundario de forma que las capacidades caloríficas de ambos fluidos ($\text{m} \cdot \text{C}_p$), sean similares en ambos circuitos y, en cualquier caso, nunca sea inferior la capacidad calorífica del circuito primario.
- 3) Con objeto de disminuir la potencia eléctrica de bombeo se ha de minimizar la pérdida de carga del intercambiador.

3.5.4.- Bomba de circulación.

Se emplea en una instalación de circulación forzada para hacer circular el fluido contenido en el circuito primario. Y en nuestro caso también para impulsar el agua de consumo del circuito secundario.

En una instalación solar se pueden alcanzar temperaturas muy elevadas, por lo que especialmente en el circuito primario, la bomba debe instalarse en la zona más fría, esto es, la tubería de ida hacia los captadores solares en el circuito primario). En esta tubería pueden alcanzarse picos de temperatura máxima de hasta 130°C por lo que deben tomarse medidas correspondientes para soportarlos; a pesar de que estos picos suelen aparecer con poca frecuencia y se mantienen durante poco tiempo (segundos o escasos minutos).

Por otra parte, debido a la aleatoriedad de la radiación solar, las bombas pueden experimentar arranques y paradas frecuentes, por lo que han de estar preparadas para responder adecuadamente frente a estas situaciones.

Dada una instalación, al aumentar la pérdida de carga en la misma, aumenta el consumo de energía eléctrica de la bomba. Para optimizar el balance energético de una instalación, este consumo eléctrico ha de minimizarse por lo que se recomienda tomar medidas encaminadas a reducir la pérdida de carga (utilización de diámetros mayores de tuberías, etc).

3.5.5.- Vaso de expansión.

Un vaso de expansión o depósito de expansión es un elemento utilizado en circuitos de calefacción de edificios para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido caloportador que contiene el circuito. También se utilizan en otras instalaciones en las que se producen cambios de temperatura, y por lo tanto de volumen, de algún fluido (generalmente agua).

En las instalaciones solares normales se utilizan vasos de expansión cerrados, por lo que el fluido del circuito no se encuentra en comunicación directa con la atmósfera. En estas instalaciones se pueden alcanzar valores de temperatura muy elevados (mayor de 150°C en los captadores solares) por lo que, además de instalarse en la parte más fría del circuito primario, se han de emplear vasos con membranas elásticas que trabajen adecuadamente frente al mayor valor de la temperatura que se pueda alcanzar en el vaso y en caso de emplear fluidos anticongelantes utilizar membranas especiales. Se recomienda instalar el vaso de expansión de forma que el fluido de la instalación esté en la parte superior y el gas en la inferior, consiguiéndose de esta forma disminuir la temperatura del fluido líquido en contacto con la membrana elástica debido a la estratificación de temperaturas que presenta este líquido; por tanto con esta medida la membrana está en contacto con el líquido más frío. Por este motivo se recomienda que la tubería de conexión entre el circuito y el vaso no se aisle térmicamente.

Se ha de prestar especial atención al fenómeno de formación de vapor en el circuito primario de una instalación solar en caso de emplear fluidos anticongelantes con objeto de evitar la posible fuga del mismo a través de la válvula de seguridad; que deberá ser repuesta con nuevo fluido anticongelante (con el consiguiente aumento de coste).

Cabe destacar que no es necesario instalar un vaso de expansión en el circuito secundario de nuestra instalación, ya que la capa de aire existente en el depósito de acumulación realiza las funciones de vaso de expansión.

3.5.6.- Tuberías y aislamientos.

Debido a los altos niveles de presión y temperaturas que se puede alcanzar en una instalación solar se recomienda utilizar tuberías y elementos de conexión metálicos en el circuito primario. Estas tuberías y accesorios de conexión han de ser compatibles con el resto de elementos que constituyen la instalación solar y con el tipo de fluido empleado, resistentes a la corrosión, presentar buena estabilidad térmica y mecánica.

La particularidad más evidente de los materiales aislantes radica en que, debido a que en muchos casos se encuentran situados en tramos exteriores, han de comportarse adecuadamente frente a la radiación solar, humedad, corrosión y han de ser resistentes a las acciones de la fauna (pájaros, roedores, etc). En este último caso es especialmente recomendable la utilización de elementos de protección (chapa de aluminio, etc).

3.5.7.- Válvulas.

Frecuentemente se utilizan las mismas válvulas empleadas en instalaciones térmicas convencionales, si bien debe presentarse especial atención a su comportamiento frente a las temperaturas y presiones máximas de trabajo y su protección respecto al ambiente exterior.

A continuación se describen los diferentes tipos de válvulas que podemos encontrar en una instalación solar típica:

- i.) *Válvulas de corte*: en el campo de captadores se utilizan para poder independizar las agrupaciones de baterías que se hayan establecido facilitando la realización de operaciones de mantenimiento.
- ii.) *Válvulas de regulación*: para regular el caudal de circulación del fluido de los distintos ramales, circuitos, etc.
- iii.) *Válvulas de retención*: evitan los flujos inversos no deseados que se producen, cuando las configuraciones de los circuitos lo permiten, entre acumulador y captadores. En caso de no tomar precauciones adecuadas puede haber pérdidas térmicas significativas producidas por un efecto termosifón del agua caliente acumulada apoyada por la capacidad de enfriamiento nocturno de los captadores.
- iv.) *Válvulas de seguridad*: además de en los acumuladores, deben utilizarse en las agrupaciones de captadores que se puedan independizar donde se alcanzan condiciones de estancamiento y, habitualmente, se produce vapor.
- v.) *Válvulas termostáticas*: se utilizan en la tubería de salida hacia el consumo cuando no se limita la temperatura del acumulador de las instalaciones solares y quieren proteger los materiales y/o los usuarios.

3.5.8.- Sistema de purga de aire.

Dadas las condiciones de diseño de los captadores solares, habitualmente los trazados hidráulicos se realizan con sifones invertidos que pueden retener bolsas de aire, por lo que se hace necesaria la purga de aire de la instalación.

3.5.9.- Sistema de medida y control.

La importancia de este subsistema es clara, puesto que si se careciese de él, nuestra instalación podría no aportar energía útil en los momentos en que podría hacerlo e incluso actuar de forma contraria, disipando energía acumulada al exterior.

El sistema de medida y control asegura el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. Este sistema comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.

El sistema de medida y control asegura que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos. También asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

Control diferencial.

Se utiliza en instalaciones solares para controlar el proceso de calentamiento del sistema de acumulación y, en determinadas configuraciones, el proceso de descarga térmica del sistema de acumulación. En su modalidad básica dispone de dos entradas y de una salida. Funciona en base a la diferencia de dos señales de entrada correspondientes a dos sensores de temperatura (salida del captador solar y parte inferior del acumulador) que transmiten estas señales al circuito electrónico correspondiente del regulador. La salida es un relé de contacto que activa o desactiva el funcionamiento de las bombas de la instalación; de modo que cuando la temperatura de salida del captador sea mayor que la del acumulador en una determinada cantidad prefijada en el regulador, se pondrán en marcha las bombas.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

Hay que tener en cuenta que la diferencia de temperaturas debe ser lo suficientemente amplia para garantizar un beneficio en el funcionamiento. Esto se debe a que se producen diferentes fenómenos que pueden inducir a un mal funcionamiento de la instalación.

Los más comunes son:

- Pérdida de temperatura en el circuito de retorno que puede ser entorno a 1°C.
- Las tolerancias de la sonda y del regulador alrededor de 1° ó 2°C.
- Una diferencia mínima en el intercambiador para su correcto funcionamiento de entorno a los 4°C.

Esto hace que sea aconsejable utilizar un diferencial mínimo de 6°C.

Es por lo que el sistema de control debe de asegurar que en ningún caso las bombas puedan estar en marcha con diferencias de temperaturas entre la salida de captadores y el acumulador inferiores a 2°C y que en ningún caso estén paradas con diferencias superiores a 7°C, según indica el *ITE 10.1.5 “sistemas de control”*.

Termostatos.

En las instalaciones solares destacan las siguientes funciones relativas al control de temperaturas.

- *Sistema de protección frente a heladas*: consiste en activar la bomba del circuito primario cuando la temperatura a la salida de los captadores es inferior a la de consigna previamente establecida. Esta temperatura de consigna es normalmente de 3°C superior a la temperatura de congelación del fluido de trabajo.
- *Limitador de temperatura máxima en acumulador*: mediante esta función se detiene el proceso de carga térmica del acumulador cuando se alcanza la temperatura máxima que puede soportar el acumulador, evitándose por tanto el posible deterioro de los materiales debido a excesos de temperatura.

Entre las diversas funciones adicionales que los sistemas de control de las instalaciones solares presentan actualmente, se encuentra el control de varios circuitos y/o componentes a la vez, la refrigeración de captadores solares, etc. Determinados fabricantes han incorporado estas funciones al control diferencial y con ello desarrollado y comercializado componentes específicos de instalaciones solares.

3.5.10.- Sistema de distribución.

El sistema de distribución es el que se encarga de transportar el fluido caliente contenido en los captadores solares hasta el punto de consumo. Existen diferentes circuitos de distribución, dependiendo de las necesidades que pretendamos satisfacer o las condiciones climáticas del lugar donde vamos a realizar la captación.

En España, los más utilizados para viviendas son los sistemas de distribución de circuito cerrado, ya sean con termosifón o circulación forzada. Es decir, aquellos que cuentan con un sistema de doble circuito en el que el fluido que transita por el captador es diferente al que corre a través del tanque de almacenamiento.

Pero sepamos algo más sobre los diferentes sistemas de circulación disponibles en el mercado que tienen como principal cometido impedir que se pierda la energía térmica obtenida en los captadores solares:

a) Instalaciones de circuito abierto.

Estos sistemas transfieren directamente el agua caliente producida en el captador solar hacia el depósito de acumulación. El funcionamiento de estos equipos es muy simple: cuando el captador es calentado por el Sol, el agua aumenta de temperatura desplazándose hacia arriba. Una vez en el depósito de almacenamiento, éste se vacía con una cantidad equivalente de agua más fría que se dirige al captador.

La principal ventaja de los sistemas de estas características es que resultan más económicos, más sencillos de fabricar, de instalar e incluso obtienen mejores rendimientos energéticos. Por el contrario, el principal inconveniente de las instalaciones de circuito abierto es que al utilizar como único fluido de circulación el

agua se corre el riesgo de rotura en periodos de heladas o la posibilidad de graves problemas de incrustaciones por la calidad de las aguas. Para evitar este tipo de problemas, en el caso de las obstrucciones en el sistema de captación habrá que utilizar ciertos aditivos o dispositivos electrónicos. Por su parte, ante las heladas estacionales será necesario vaciar el circuito durante la época más fría del año, ya que el volumen del hielo es mayor que el del agua líquida y puede llegar a producir daños importantes en el equipo. Por este motivo, las instalaciones de circuito abierto son empleadas en lugares donde no se dan heladas a lo largo del año (zonas costeras de países cálidos), o bien en aplicaciones temporales (establecimientos de hostelería de temporada, piscinas descubiertas...).

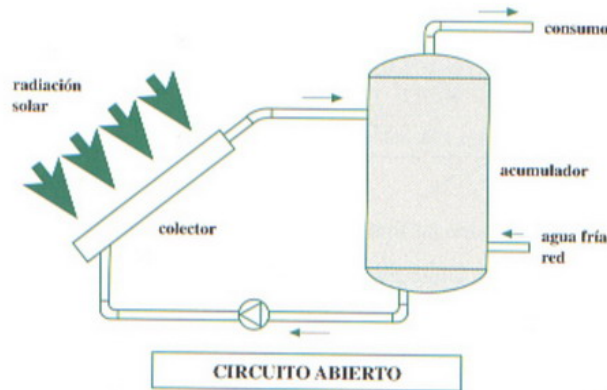


Figura 3.16.- Esquema de una instalación solar de circuito abierto (fuente : apuntes asignatura Energías Renovables).

b) Instalaciones de circuito cerrado.

En este caso existen dos circuitos: el circuito primario del sistema captador y el circuito secundario donde se encuentra el sistema de almacenamiento. En el circuito primario se introduce un líquido especial que circula por dentro del captador y transmite calor al agua del tanque de almacenamiento por medio de un intercambiador de calor. Lo que se pretende con el sistema de doble circuito es evitar que el agua del depósito se pueda mezclar con el líquido del captador. Así, es posible colocar un componente anticongelante que permita su uso en zonas donde las temperaturas bajen de cero grados.

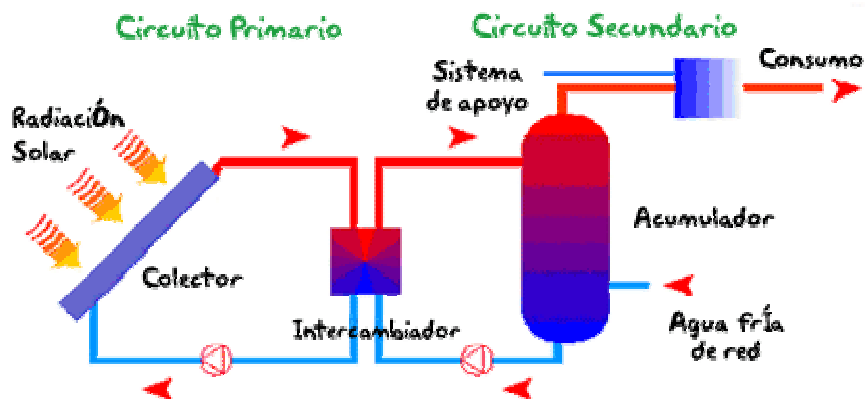


Figura 3.17.- Esquema de una instalación solar de circuito cerrado (fuente : apuntes asignatura Energías Renovables).

c) Circulación forzada de agua.

Los sistemas de circulación forzada están basados en una bomba de impulsión movida por un aporte exterior de energía eléctrica; un gasto que deberemos tener en cuenta a la hora de optar por este tipo de mecanismos. La bomba de circulación colocada en el sistema de captación tiene como principal función transferir el fluido circulante más rápidamente, impidiendo así que se pueda perder parte de las calorías ganadas en el proceso de distribución.

La utilización de esta bomba también permite interrumpir la transferencia de calor cuando el agua de los captadores no circule más caliente que la que se encuentra en el depósito. Este sistema es muy común en climas fríos, donde cualquier pérdida de calorías puede restar eficacia a la instalación solar. Este tipo de circulación se utiliza para instalaciones solares de cualquier tamaño.

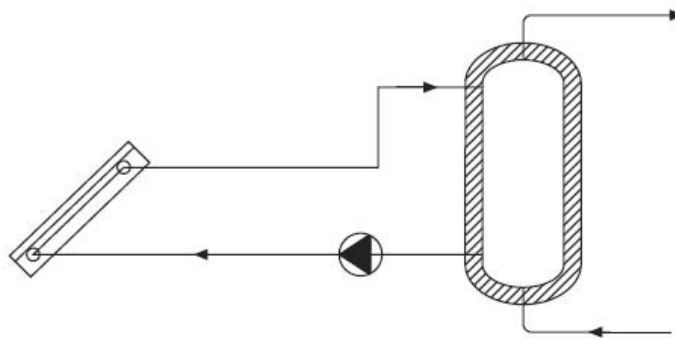


Figura 3.18.- Esquema de una instalación solar con circulación forzada (fuente : CTE).

d) Circulación normal o con termosifón.

Estos sistemas tienen la ventaja de no contar con bombas de impulsión, aprovechando la circulación natural del agua caliente, que por naturaleza tiende a ascender. Los sistemas con termosifón son muy utilizados en áreas geográficas con climas más cálidos. Estos sistemas de circulación sólo se utilizan para instalaciones solares pequeñas.

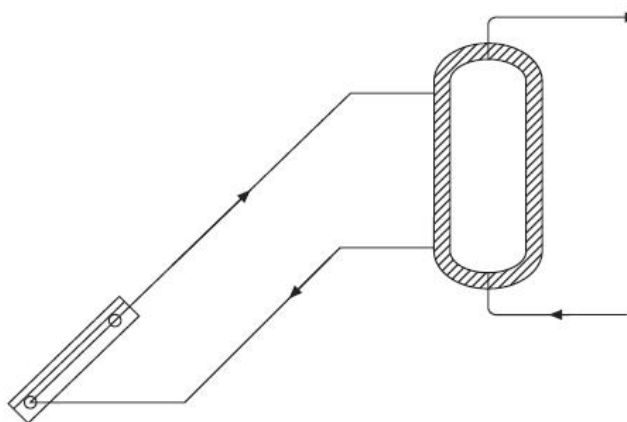


Figura 3.19.- Esquema de una instalación solar con circulación natural o termosifón (fuente: CTE).

3.5.11.- Sistema de energía de apoyo.

El sistema de energía auxiliar es un elemento imprescindible en toda instalación solar si no se quieren sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto. Para prevenir estas situaciones, casi la totalidad de los sistemas de energía solar térmica cuentan con un apoyo basado en energías "convencionales". La fuente de apoyo es muy variable, aunque en general es recomendable que se encuentre vinculada a un sistema de control. Algunos sistemas de apoyo son:

- Eléctricos, sobre todo para equipos pequeños, en los que la energía se suministra dentro del acumulador mediante una resistencia.
- Calderas de Gas o Gasóleo. Este tipo de apoyos, según el diseño de la instalación, pueden provenir de las instalaciones preexistentes (adecuadamente modificadas) o bien realizarse de modo simultáneo a la instalación solar. En todo caso, y dependiendo de las demandas a satisfacer (puntuales, prolongadas, estacionales...) es posible emplear sistemas de calentamiento instantáneo o sistemas provistos de acumulador independiente u otros acumuladores intermedios.

Los sistemas de producción de ACS con sistemas de apoyo tienen que cumplir, de forma resumida, las siguientes condiciones para aprovechar adecuadamente las prestaciones energéticas aportadas por la instalación solar:

- Admitir agua caliente en la entrada.
- Disponer de regulación de la temperatura de salida.

A efectos energéticos, los factores que más influyen en el comportamiento de un sistema con acumulación son el correcto dimensionado del mismo, la temperatura de preparación, el nivel de aislamiento y el nivel de estratificación de temperaturas alcanzado.

En cualquier caso, siempre será necesario que exista un mecanismo de control adecuado que gestione correctamente la instalación, con el fin de reducir al máximo la entrada en funcionamiento del sistema de energía de apoyo. El sistema de control estará basado en un conjunto de sondas y/o válvulas automáticas, que en función de la temperatura del acumulador solar, de la temperatura del acumulador auxiliar si lo hubiera, y de la temperatura de uso activarán el sistema auxiliar o no y en diferente grado en el caso de los sistemas modulantes.

3.6.- Mantenimiento y vida útil de los sistemas solares térmicos.

3.6.1.- Mantenimiento.

Una instalación solar bien diseñada y correctamente instalada no tiene porqué ocasionar problemas al usuario. De hecho, el grado de satisfacción entre los usuarios actuales es muy elevado, tal y como ha quedado reflejado en múltiples ocasiones.

El hecho de introducir este apartado obedece más bien a que en una instalación solar es conveniente realizar unas ciertas labores de mantenimiento, de un alcance parecido a las correspondientes a cualquier otro tipo de sistemas de calefacción o de agua caliente sanitaria. Este factor conviene tenerlo presente a la hora de valorar la posibilidad de adquirir una instalación solar. Como ocurre con cualquier otra tecnología, la situación y conservación del equipo dependerá del uso que se haga de él. Con un breve seguimiento rutinario será suficiente para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema durante toda su vida útil.

Las revisiones a cargo del propietario consistirán en observar los parámetros funcionales principales, para verificar que no se ha producido ninguna anomalía con el paso del tiempo. Por su parte, la empresa instaladora tendrá la responsabilidad de intervenir cuando se produzca alguna situación anormal y efectuar un mantenimiento preventivo mínimo periódicamente. Este mantenimiento implicará la revisión anual de aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m², o una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m². (Frecuencia especificada por el *Código Técnico de la Edificación*).

En las revisiones que lleve a cabo la empresa instaladora no se contempla la inspección del sistema de energía auxiliar propiamente dicho. Dado que no forma parte del sistema de energía solar, sólo será necesario realizar las actuaciones previstas para asegurar el buen funcionamiento entre ambos sistemas, así como comprobar el correcto estado de sus conexiones, derivando a la empresa responsable del sistema adicional la inspección del mismo.

En cualquier caso, el plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica. Con la instalación también se facilitará un libro de mantenimiento en el que se reflejan las operaciones más importantes a realizar, así como la forma de actuar ante posibles anomalías.

3.6.2.- Vida útil.

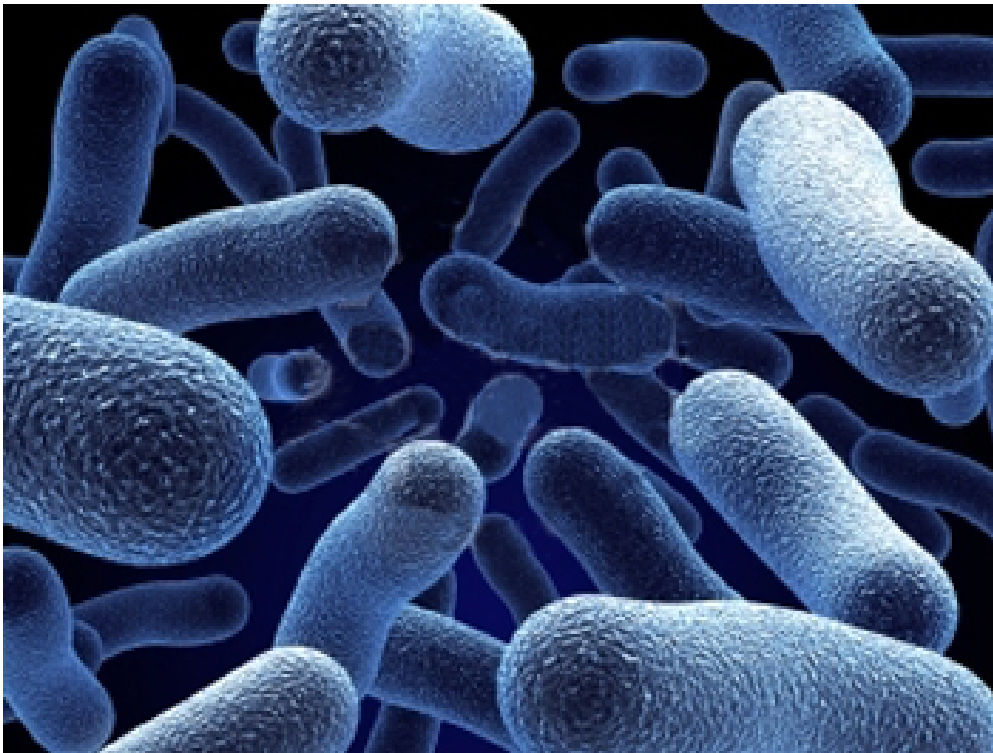
Gracias a la sofisticada tecnología actual, se garantiza que la vida útil de una instalación solar se puede situar en unos 25 años (con buenos componentes 30 años). Por consiguiente, los sistemas solares térmicos son bienes económicos de gran valor que, a su vez, van a tener una duración extremadamente larga.

Las condiciones previas para garantizar un periodo de vida de la instalación solar de 25 a 30 años son las siguientes:

- Un dimensionado correcto de la instalación, de acuerdo al consumo medido. Evitar el sobredimensionado, así como los periodos de estancamiento demasiado frecuentes y prolongados.
- Un diseño del sistema cuidadoso y detallado, seleccionando componentes de alta calidad.
- Montaje cuidadoso de todos los componentes del sistema.
- Supervisión intensiva de la instalación por el proyectista.
- Un control cauteloso en la inspección, certificación y durante la puesta en marcha.
- Control del comportamiento del sistema durante la operación y un mantenimiento esmerado del mismo.

Como se puede ver, estos requisitos son válidos para todo tipo de instalación técnica. Una instalación solar no exige mayor cuidado que otros sistemas.

4. Prevención de la legionela



Las instalaciones solares térmicas calientan el agua sanitaria aprovechando la energía solar. Debido a que la radiación solar no incide en la tierra constantemente, estos sistemas necesitan un acumulador con el fin de superar el desfase temporal y las diferencias de potencia entre radiación solar y demanda de energía. Estas diferencias requieren, por lo general, mayores volúmenes de ACS que los sistemas convencionales. Esta necesidad contradice los requisitos relativos a una mayor higiene con el agua sanitaria, que se cumplen mejor si se logra almacenar la menor cantidad de agua posible y se evitan largos tiempos de retención de la misma. Por esta razón, desde un punto de vista higiénico, es aconsejable tomar una posición crítica respecto a los acumuladores de agua sanitaria con un volumen aproximado, o incluso mayor, al consumo diario de ACS.

Las temperaturas de 30°C a 50°C suelen presentarse con frecuencia en los acumuladores solares. En caso de que se almacene agua sanitaria a temperaturas semejantes durante periodos de tiempo de mayor duración que un día, se deberá prestar especial atención a la higiene del agua, en vista de que los más altos índices de reproducción de las bacterias tienen lugar en ese rango de temperaturas, como puede ser el caso de la legionela.

Sin embargo, la multiplicación de bacterias en el agua sanitaria no representa un problema específico en las instalaciones solares. Cualquier sistema de circulación de agua sanitaria podrá verse afectado, por ejemplo, las instalaciones con calentadores de agua instantáneos (sin acumuladores), las redes de agua fría y, especialmente, las instalaciones de ACS en las cuales se precalienta agua fría sanitaria en fases convencionales (por ejemplo, utilización de calor residual). Debido a los altos riesgos, es aconsejable adoptar medidas especiales en cuanto a la prevención de la legionelosis en el agua caliente sanitaria.

La legionelosis es una enfermedad bacteriana de origen ambiental que suele presentar dos formas clínicas diferenciadas: la infección pulmonar o “*enfermedad del legionario*”, que se caracteriza por neumonía con fiebre alta, y la forma no neumónica, conocida como “*fiebre de pontiac*”, que se manifiesta como un síndrome febril agudo y de pronóstico leve.

4.1- Características de la legionela.

La legionela es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones físico-químicas, multiplicándose entre 20°C y 45°C, destruyéndose a 70°C. Su temperatura óptima de crecimiento es de 35°C a 37°C. Su nicho natural son las aguas superficiales, como lagos, ríos, estanques,... formando parte de su flora bacteriana. Desde estos reservorios naturales la bacteria puede colonizar los sistemas de abastecimiento de las ciudades y, a través de la red de distribución de agua, se incorpora a los sistemas de agua sanitaria (fría o caliente) o a otros sistemas que requieren agua para su funcionamiento, como las torres de refrigeración. En algunas ocasiones, en estas instalaciones, mal diseñadas, sin mantenimiento o con un mantenimiento inadecuado, se favorece el estancamiento del agua y la acumulación de productos nutrientes de la bacteria, como lodos, materia orgánica, materias de corrosión y amebas, formando una biocapa. La presencia de ésta, junto a una temperatura propicia, explica la multiplicación de la legionela hasta concentraciones perjudiciales para el ser humano. Si existe en la instalación un mecanismo productor de aerosoles, la bacteria puede dispersarse al aire. Las gotas de agua que contienen la bacteria pueden permanecer suspendidas en el aire y penetrar por inhalación en el aparato respiratorio.

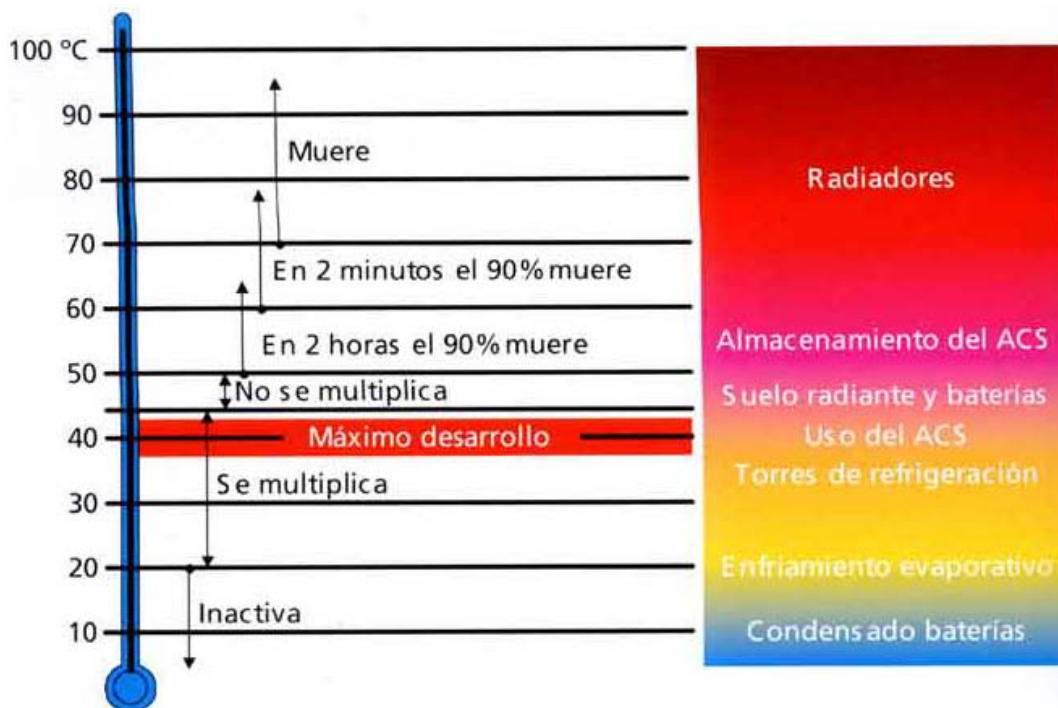


Figura 4.1.- Temperatura media de algunas instalaciones y su efecto sobre la legionela.

4.2.- Medidas de prevención.

En España, los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis están establecidos por el Real Decreto 865/2003.

Para las instalaciones de agua caliente sanitaria se deberán tener en cuenta las siguientes características como medidas preventivas:

- Garantizar la total estanqueidad y la correcta circulación de agua, evitando su estancamiento, así como disponer de suficientes puntos de purga para vaciar completamente la instalación, que estarán dimensionados para permitir la eliminación completa de los sedimentos.
- Disponer en el agua de aporte sistemas de filtración según la norma UNE-EN 13443-1, equipo de acondicionamiento del agua en el interior de los edificios – filtros mecánicos - parte 1: partículas de dimensiones comprendidas entre 80 μm y 150 μm – requisitos de funcionamiento, seguridad y ensayo.
- Facilitar la accesibilidad a los equipos para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.
- Utilizar materiales, en contacto con el agua de consumo humano, capaces de resistir una desinfección mediante elevadas concentraciones de cloro o de otros desinfectantes o por elevación de temperatura, evitando aquellos que favorezcan el crecimiento microbiano y la formación de biocapa en el interior de las tuberías.
- Mantener la temperatura del agua en el circuito de agua fría lo más baja posible procurando, donde las condiciones climatológicas lo permitan, una temperatura inferior a 20°C, para la cual las tuberías estarán suficientemente alejadas de las de agua caliente o en su defecto aisladas térmicamente.
- Asegurar, en toda el agua almacenada en los acumuladores de agua caliente finales, es decir, inmediatamente anteriores al consumo, una temperatura homogénea y evitar el enfriamiento de zonas interiores que propicien la formación y proliferación de la flora bacteriana.
- Disponer de un sistema de válvulas de retención, según la norma UNE-EN 1717, que eviten retornos de agua por pérdida de presión o disminución del caudal suministrado y en especial, cuando sea necesario para evitar mezclas de agua de diferentes circuitos, calidades o usos.
- Mantener la temperatura del agua, en el circuito de agua caliente, por encima de 50°C en el punto más alejado del circuito o en la tubería de retorno al acumulador. La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C.

Cuando se utilice el sistema de aprovechamiento térmico en el que se disponga de un acumulador conteniendo agua que va a ser consumida y en el que no se asegure de forma continua una temperatura próxima a 60°C, se garantizará posteriormente, que se alcance una temperatura de 60°C en otro acumulador final antes de la distribución hacia el consumo.

En la revisión de una instalación se comprobará su correcto funcionamiento y su buen estado de conservación y limpieza.

- La revisión general de funcionamiento de la instalación, incluyendo todos los elementos, se realizará una vez al año, reparando o sustituyendo aquellos elementos defectuosos.
- Cuando se detecte presencia de suciedad, incrustaciones o sedimentos, se procederá a su limpieza.
- La revisión del estado de conservación y limpieza de la instalación se realizará trimestralmente en los depósitos acumuladores, y mensualmente en un número representativo, rotatorio a lo largo del año, de los puntos terminales de la red interior (grifos y duchas), de forma que al final del año se hayan revisado todos los puntos terminales de la instalación.
- Mensualmente se realizará la purga de válvulas de drenaje de las tuberías y semanalmente la purga del fondo de los acumuladores. Asimismo, semanalmente se abrirán los grifos y duchas de habitaciones o instalaciones no utilizadas, dejando correr el agua unos minutos.
- El control de la temperatura se realizará diariamente en los depósitos finales de acumulación, en los que la temperatura no será inferior a 60°C y mensualmente en un número representativo de grifos y duchas (muestra rotatoria), incluyendo los más cercanos y los más alejados de los acumuladores, no debiendo ser inferior a 50°C. Al final del año se habrán comprobado todos los puntos finales de la instalación.
- Como mínimo anualmente se realizará una determinación de legionela en muestras de puntos representativos de la instalación. En caso necesario se adoptarán las medidas necesarias para garantizar la calidad del agua de la misma.

Las medidas de limpieza y desinfección son fundamentales para el correcto funcionamiento de la instalación. A continuación se recogen los aspectos mínimos que hay que tener en cuenta:

- Una desinfección no será efectiva si no va acompañada de una limpieza exhaustiva.
- Las instalaciones de agua fría de consumo humano y de agua caliente sanitaria se limpiarán y desinfectarán como mínimo, una vez al año, cuando se pongan en marcha la instalación por primera vez, tras una parada superior a un mes, tras una reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando así lo determine la autoridad sanitaria.

Para la realización de la limpieza y la desinfección se utilizarán sistemas de tratamiento y productos aptos para el agua de consumo humano.

4.2.1.- Desinfección química con cloro.

En el caso de la desinfección química con cloro, el procedimiento a seguir será el siguiente:

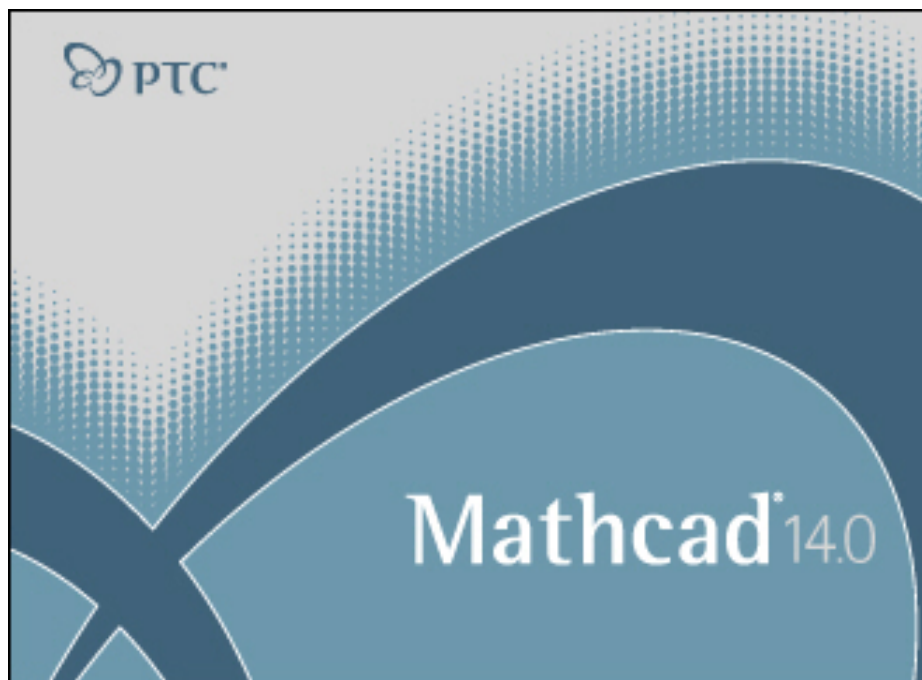
- Clorar el depósito con 20-30 mg/l de cloro residual libre, a una temperatura no superior a 30°C y un pH de 7-8, haciendo llegar a todos los puntos terminales de la red 1-2 mg/l y mantener durante 2 ó 3 horas respectivamente. Como alternativa, se puede utilizar 4-5 mg/l en el depósito durante 12 horas.
- Neutralizar la cantidad de cloro residual libre y vaciar.
- Limpiar a fondo las paredes de los depósitos, eliminando incrustaciones y realizando las reparaciones. Ésta se realizará por medio de dosificadores automáticos.
- Volver a llenar con agua y restablecer las condiciones de uso normales. Si es necesaria la recloración, ésta se realizará por medio de dosificadores automáticos.

4.2.2.- Desinfección térmica.

En el caso de la desinfección térmica, el procedimiento a seguir será el siguiente:

- Vaciar el sistema y, si fuera necesario, limpiar a fondo las paredes de los depósitos acumuladores, realizar las reparaciones necesarias y aclarar con agua limpia.
- Llenar el depósito acumulador y elevar la temperatura del agua hasta 70°C y mantener al menos 2 horas. Posteriormente abrir por sectores todos los grifos y duchas, durante 5 minutos, de forma secuencial. Confirmar la temperatura para que en todos los puntos terminales de la red se alcance una temperatura de 60°C.
- Vaciar el depósito acumulador y volver a llenarlo para su funcionamiento habitual.

5. Cálculo de la instalación



5.1.- Descripción del edificio.

El edificio sobre el que se va realizar el diseño de la instalación solar consta de 4 bloques cada uno de ellos con 7 viviendas unifamiliares adosadas. Los bloques tienen una cubierta común a diferentes alturas inclinada 30°, en la que se encuentran ubicadas chimeneas y ventanas para cada ático, y donde se ubicarán los captadores solares. Hay que reseñar que la orientación de los bloques es en la dirección Norte-Sur.

Entre los bloques A y B hay una calle peatonal. Lo mismo sucede entre los bloques C y D. Al final de dichas calles se encuentran los cuartos de calderas donde se guardan los diferentes elementos de la instalación, como los depósitos acumuladores, vasos de expansión, caldera,... a una temperatura adecuada.

Las viviendas unifamiliares constan de 4 plantas: sótano, planta baja, primera planta y ático. En la planta baja hay una cocina y un pequeño cuarto de baño con lavabo. En la primera planta nos encontramos con los dormitorios y con 3 cuartos de baño; 2 de ellos con bañera, lavabo y bidé y otro con ducha, bidé y lavabo. Todos estos datos han sido obtenidos estudiando los planos del edificio (ver anexo V).

Una vez conocida la distribución de las viviendas unifamiliares, podemos hacer una estimación de las personas que habitarán en cada una de éstas. Para ello, nos valemos del *Código Técnico de la Edificación*, que según su sección HE-4 “contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”, y como podemos ver en la *Tabla 1*, para una vivienda de 4 dormitorios se estima un número 6 de personas por vivienda.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 1.- *Cálculo del número de personas por vivienda.*

Por tanto habrá que suministrar agua caliente sanitaria para **168 personas.**

5.2.- Caudal diario de ACS.

Una vez conocidos los datos del edificio podemos proceder a estimar la demanda de agua caliente sanitaria necesaria. Según la sección HE-4 del *Código Técnico de la Edificación* para realizar el cálculo de ACS necesaria nos tenemos que fijar en la tabla 2.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

Tabla 2.- Demanda de referencia a 60°C (1)

En nuestro caso tenemos 28 viviendas unifamiliares. Pero si observamos la distribución de las viviendas, éstas lo están en bloques de 4 y en cada uno de ellos hay 7 viviendas. Por tanto, tenemos que considerar a la hora de realizar los cálculos, que se tratan de viviendas multifamiliares.

Por lo tanto, la demanda de caudal diario de agua caliente sanitaria será de 22 litros por persona al día. Y sabiendo que hay que suministrar agua caliente sanitaria para 168 personas, tenemos que:

$$\text{CAUDAL DIARIO} = 168 \text{ personas} \times 22 \text{ l/día} = 3.696 \text{ l/día}$$

Hay que tener en cuenta un factor de estacionalidad que se produce a la hora del consumo de ACS. En los meses de invierno, la demanda de agua caliente sanitaria es mayor que en los meses de verano. Mediante el *DTIE 1.01 "preparación de agua caliente para usos sanitarios"* podemos conocer cómo afecta este factor a la demanda diaria de ACS.

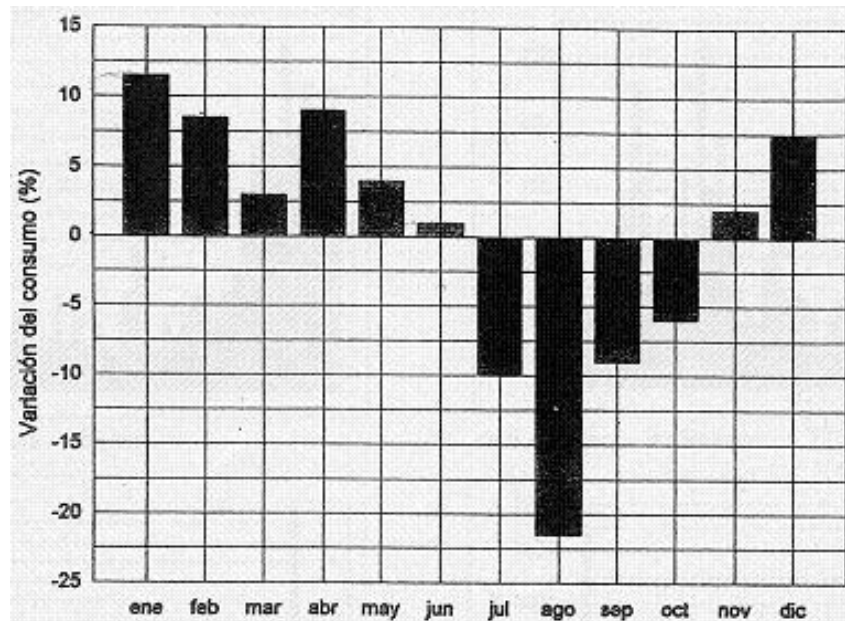


Figura 5.1.- Variación media del consumo mensual en viviendas (fuente: DTIE 1.01).

Debido a este factor de estacionalidad en el consumo de ACS, la demanda diaria de la misma varía para cada mes del año.

Para calcular el caudal diario de ACS que se necesita para cada mes del año, se ha tomado como referencia la demanda del mes de junio, ya que el coeficiente de estacionalidad para este mes es del 1%. De esta manera, nos queda:

$$Q_d = \text{Coef} \cdot 22 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{persona}} \cdot n^{\circ} \text{ personas}$$

donde:

Q_d : caudal diario de ACS [litros/día].

Coef : coeficiente de estacionalidad.

$N^{\circ} \text{ personas}$: 168 personas en las 28 viviendas.

Conociendo la demanda diaria de ACS para cada mes del año, se puede calcular el gasto másico diario para cada mes que debe circular por la tubería que suministra el agua caliente sanitaria a las viviendas. Para este cálculo se ha considerado que se aprovechan 8 horas de sol diarias y que la densidad del agua es de 1.000 kg/m^3 .

Para calcular el gasto másico diario de ACS se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_d = Q_d \cdot \rho = \frac{Q_d \cdot \rho}{10^3 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot \frac{8\text{h}}{\text{día}} \cdot 3.600\text{s}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

	Coefficiente (%)	Q_d [L/día]	\dot{m}_d [kg/s]
Enero	+11	4.102,56	0,142
Febrero	+8	3.991,68	0,139
Marzo	+2,7	3.795,79	0,132
Abril	+9	4.028,64	0,140
Mayo	+4	3.843,84	0,133
Junio	+1	3.696,00	0,128
Julio	-10	3.326,40	0,116
Agosto	-21	2.624,16	0,091
Septiembre	-9	3.363,36	0,117
Octubre	-7	3.585,12	0,124
Noviembre	+2	3.769,92	0,131
Diciembre	+7,5	3.973,20	0,138

Tabla 3.- Caudal diario de ACS y gasto másico diario de ACS para cada mes del año.

5.3.- Potencia calorífica demandada.

Para calcular la potencia calorífica mensual que va a necesitar nuestra instalación, basta con realizar el siguiente balance de energía:

$$\dot{Q} = \dot{m}_d \cdot N \cdot C_p \cdot (t_{sum} - t_{red})$$

donde:

\dot{Q} : potencia calorífica mensual demandada [kW].

\dot{m}_d : gasto másico diario de ACS para cada mes del año [kg/s].

N : número de días del mes.

C_p : calor específico del agua: 4.180 J/kg·°C.

t_{sum} : temperatura a la que debemos suministrar el agua [°C].

t_{red} : temperatura media del agua de la red general [°C].

La temperatura de suministro, t_{sum} , será siempre constante y de valor 60°C, para así cumplir con la norma UNE – 100.030 sobre prevención de la legionela.

La temperatura media del agua de la red general, t_{red} , varía de un mes a otro. A través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* podemos conocer el valor de dicha temperatura para cada mes en Santa Cruz de Tenerife (ver anexo II).

	\dot{m}_d [kg/s]	N	t_{red} [°C]	\dot{Q} [kW/mes·vivienda]	\dot{Q} [kW/mes]
Enero	0,142	31	8	34,280	959,851
Febrero	0,139	28	9	29,547	827,309
Marzo	0,132	31	11	29,887	836,843
Abril	0,140	30	13	29,444	824,444
Mayo	0,133	31	14	28,413	795,552
Junio	0,128	30	15	25,864	724,185
Julio	0,116	31	16	23,519	658,526
Agosto	0,091	31	15	18,975	531,310
Septiembre	0,117	30	14	24,059	673,653
Octubre	0,124	31	13	27,076	758,136
Noviembre	0,131	30	11	28,726	804,328
Diciembre	0,138	31	8	33,199	929,585
TOTAL				332,990	9.323,723

Tabla 4.- Potencia calorífica mensual de ACS demandada.

Debido al factor de estacionalidad en el consumo de ACS anteriormente mencionado, la demanda de la misma varía para cada mes del año.

	Coficiente (%)	N	Demanda [L]
Enero	+11	31	127.179
Febrero	+8	28	111.767
Marzo	+2,7	31	117.670
Abril	+9	30	120.859
Mayo	+4	31	119.159
Junio	+1	30	110.880
Julio	-10	31	103.118
Agosto	-21	31	81.349
Septiembre	-9	30	100.901
Octubre	-7	31	106.556
Noviembre	+2	30	113.098
Diciembre	+7,5	31	123.169

Tabla 5.- *Demanda mensual de ACS.*

Para calcular la demanda mensual de ACS, se ha tomado como referencia la demanda del mes de junio, ya que el coeficiente de estacionalidad para este mes es del 1%. Por tanto, la demanda la podemos calcular mediante la expresión:

$$Demanda = Coef \cdot 22 \frac{l}{día \cdot persona} \cdot N \cdot n^{\circ} personas$$

5.4.- Volumen de acumulación de ACS.

Para que un sistema de preparación de agua caliente para usos sanitarios cumpla satisfactoriamente con su función es esencial que disponga de una potencia calorífica suficiente, auxiliada por una acumulación térmica en su caso, para absorber los caudales de punta sin perjuicio para la estabilidad de la temperatura del agua en los puntos de consumo.

Todo método de cálculo debe apoyarse sobre un cierto número de hipótesis basadas, cuando sea posible, sobre datos experimentales, particularmente cuando el evento sigue leyes estadísticas, como en este caso.

El consumo de ACS varía fuertemente según el tipo de edificio, el mes del año, el día de la semana y la hora del día. En consecuencia, la estimación exacta del consumo se hace muy difícil, tanto más cuanto más corto sea el periodo de tiempo durante el cual se necesita conocer la demanda y menor el número de usuarios de la instalación.

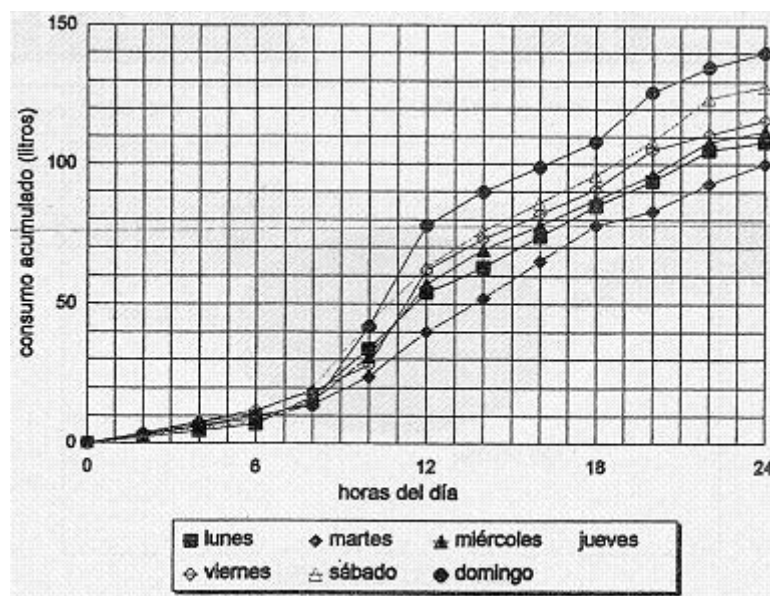


Figura 5.2.- Variación del consumo según la hora del día en viviendas (día de la semana como parámetro) (fuente: DTIE 1.01).

El cálculo del volumen de acumulación de ACS, se va realizar mediante el método recomendado por el DTIE 1.01 “preparación de agua caliente para usos sanitarios”. El procedimiento de cálculo para edificios de viviendas dotadas de un sistema de preparación por acumulación, es el siguiente.

1.- Determinar los datos de partida.

Se necesita conocer el consumo medio diario, Q_d , que según el *Código Técnico de la Edificación*, para viviendas multifamiliares, se estima en 22 litros por persona al día. Y al considerar que la unidad familiar está constituida por 6 personas, tenemos que el consumo medio diario es de: $Q_d = 132 \text{ l/día-vivienda}$

Es necesario conocer la temperatura de entrada o temperatura media del agua de la red general, t_{red} , que hay en Santa Cruz de Tenerife. Este dato lo podemos conocer gracias al *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (ver anexo II).

También es necesario conocer la temperatura de preparación o temperatura de suministro del agua, t_{sum} . Según el *DTIE 1.01*, debe ser de 60°C en cumplimiento de las recomendaciones de la norma UNE-100.030 sobre prevención de la legionela. Sin embargo, se informa que es posible seguir preparando el agua a temperaturas entre 45° y 50°C siempre que se someta a un tratamiento de choque térmico de dos horas de duración cada treinta días como máximo. De esta manera no se penaliza el uso de los paneles solares planos y de las bombas de calor.

$$T_{sum} = 60^{\circ}\text{C}$$

2.- Cálculo del número de viviendas estándar, N_{ve} .

La vivienda estándar, VE , se define como la vivienda patrón cuyas características son:

- Ocupación media: 3,5 personas.
- Cuartos húmedos:
 - un cuarto de baño con bañera de 150 litros.
 - una cocina con un fregadero.

Los coeficientes multiplicadores que afectan a las viviendas que, por equipamiento, son distintas de la VE son los indicados en la tabla 6.

EQUIPAMIENTO	COEFICIENTE
4 cuartos de baño, con bañera de 150 ó 180 L	2,3
3 cuartos de baño, con bañera de 150 ó 180 L	2,0
2 cuartos de baño, con bañera de 150 ó 180 L	1,6
1 cuarto de baño, con bañera de 180 L, y un cuarto de aseo con ducha	1,4
1 cuarto de baño, con bañera de 150 L, y un cuarto de aseo con ducha	1,3
1 cuarto de baño, con bañera de 180 L	1,1
VIVIENDA ESTÁNDAR: 1 cuarto de baño, con bañera de 150 L	1,0
1 cuarto de baño, con bañera de 135 L	0,9
1 cuarto de aseo con ducha	0,6
1 cuarto con lavabo	0,4

Tabla 6.- Coeficientes multiplicadores para viviendas no estándar.

Gracias a los planos del edificio (ver anexo V), podemos estudiar la disposición de las viviendas unifamiliares. Éstas constan de:

- Un cuarto de baño con lavabo, situado en la planta baja.
- Dos cuartos de baño con bañera, en la primera planta.

- Un cuarto de aseo con ducha, también en la primera planta.

En nuestro caso elegiremos un coeficiente multiplicador de 2,1. Por tanto, el número de viviendas estándar equivalentes serán:

$$N_{ve} = 28 \cdot 2,1 = 58,8 \text{ viviendas} \approx 59 \text{ viviendas.}$$

3.- Cálculo del periodo de punta, T .

El periodo de punta es el periodo de tiempo durante el cual la demanda de ACS es máxima y el agua acumulada se enfría desde la temperatura de consumo a la de suministro.

Existen diferentes ecuaciones para el cálculo del periodo de punta, T , en función del número de viviendas, pero la de mayor fiabilidad, derivada de las otras, es la siguiente:

$$T = 5 \cdot \frac{N^{0,905}}{15 + N^{0,92}} \cdot 3.600 = 12.511,41s$$

4.- Cálculo del factor de simultaneidad, φ .

Este coeficiente tiene en cuenta las pérdidas en las redes de distribución en grandes complejos de viviendas, al mantener un caudal mínimo a través de la red de retorno.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N-1}} + 0,17 = 0,302$$

5.- Cálculo del caudal máximo diario, C_{max} .

Las medidas efectuadas en edificios existentes muestran que el caudal instantáneo demandado por una instalación de agua caliente sanitaria varía de forma extremadamente brusca de un instante a otro. Su distribución en el tiempo depende de los hábitos y actividad de los usuarios y, en el caso de edificios de viviendas, se acentúan durante los fines de semana.

En la figura 5.3 se representa, de forma indicativa, la variación del caudal en un edificio de viviendas a lo largo de un día laboral. El diagrama muestra tres zonas (concretamente entre las 6 y 8, 11 y 13 y 17 y 20 horas de la jornada) que agrupan unas demandas instantáneas muy elevadas. Estas zonas de gran consumo son determinantes para el dimensionamiento del sistema de preparación de ACS.

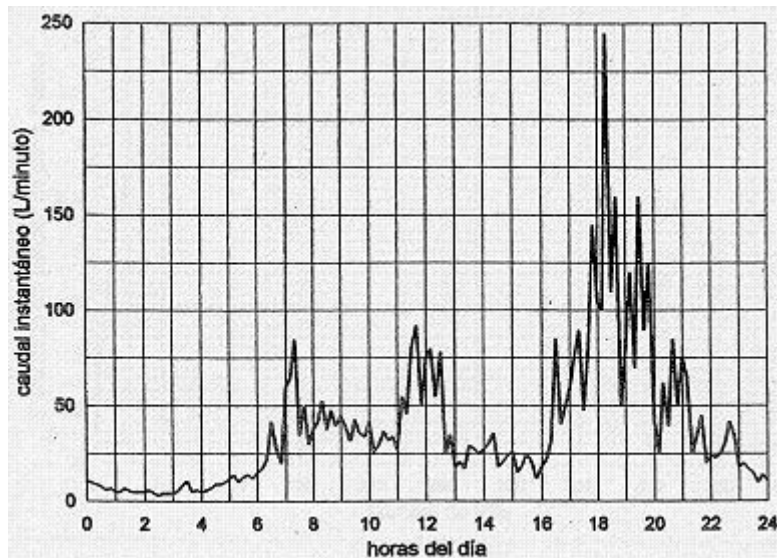


Figura 5.3.- Variación del caudal instantáneo en un edificio de viviendas en un día laboral (fuente: DTIE 1.01).

Vemos que el único tramo del día en el que tenemos garantizada la demanda de ACS es el que transcurre entre las 10 y las 18 horas del día. Para el resto de la jornada dependemos del tanque de acumulación.

El consumo máximo diario, en el caso de edificios de viviendas representado en la figura 5.3, representa el 75% del consumo total de un día y tiene lugar entre las 17 y 20 horas del día, aunque su localización en el tiempo no tenga importancia alguna a efectos de dimensionamiento del sistema de preparación. Evidentemente, el sistema que sea capaz de satisfacer la demanda en este periodo de máximo consumo podrá hacer frente a las demandas en otros periodos del día.

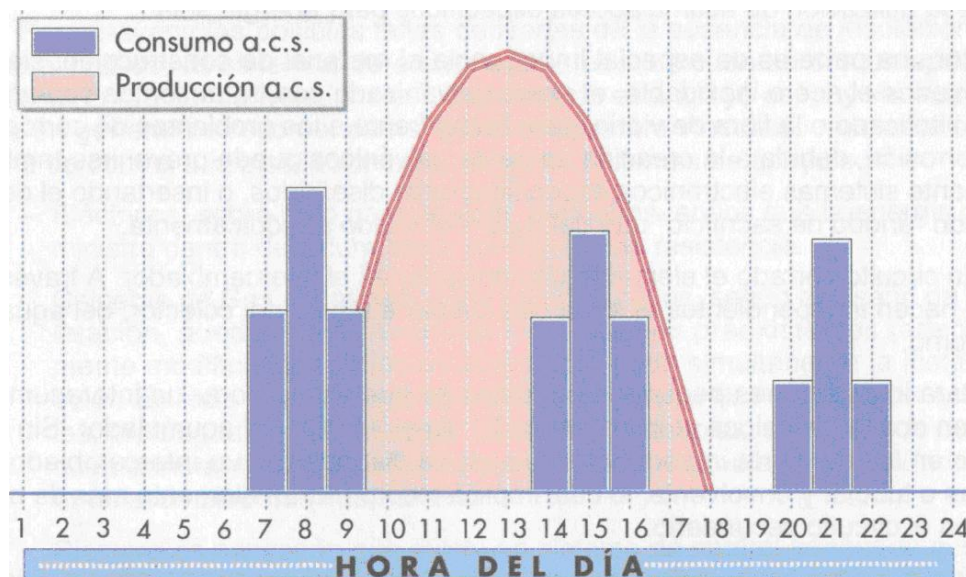


Figura 5.4.- Relación entre producción y consumo de ACS a lo largo de un día laboral (fuente: apuntes de la asignatura Nuevas Fuentes de Energía).

Por tanto, el consumo máximo diario de un edificio de viviendas será:

$$Q_{\max} = 0,75 \cdot Q_d \cdot N = Q_p \cdot N$$

El examen de la curva de la figura 5.5, indica que los consumos no están repartidos uniformemente dentro del periodo de punta. El consumo real de la instalación se situará, con una probabilidad del 50%, a la derecha o la izquierda del caudal máximo, C_{\max} . Las mediciones de campo indican que las grandes variaciones de caudal, en un sentido u otro, se producen con una probabilidad muy inferior a la de las variaciones pequeñas y, además, serán de corta duración.

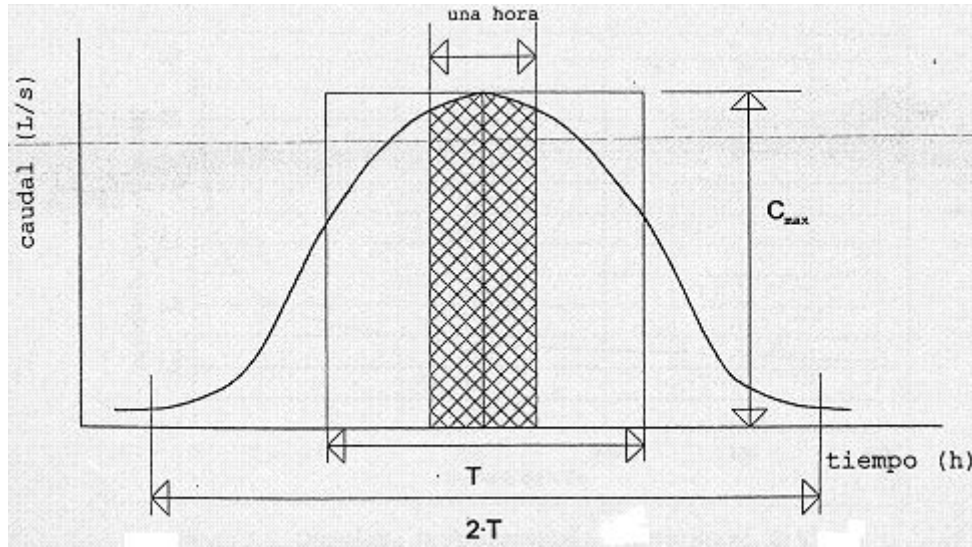


Figura 5.5.- Curva de distribución de caudales (fuente: DTIE 1.01).

Para hallar el caudal máximo horario de la instalación en función del número de viviendas es necesario multiplicar el consumo de base durante el periodo de punta de una vivienda estándar por el número de viviendas y por el coeficiente de simultaneidad.

El consumo diario de base, Q_d , ha sido tomado anteriormente igual a 132 litros de agua a 60°C. Teniendo en cuenta que durante el periodo de punta el consumo es el 75% del consumo total diario, resulta que el consumo punta diario de una vivienda es:

$$Q_p = 0,75 \cdot Q_d = 99 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

El caudal máximo horario, medio en la hora de máximo consumo, según está indicado en la figura 5.5, es por lo tanto igual a:

$$C_{\max} = \frac{Q_p \cdot N \cdot \varphi}{3.600} = 0,0275 \cdot N \cdot \varphi = 0,488 \frac{\text{litros}}{\text{s}}$$

El caudal así definido (figura 5.3) está constituido por una serie de crestas de caudal de gran amplitud y corta duración (figura 5.4), de la cual el mismo es, precisamente, la media en la hora considerada.

6.- Asumir un factor de forma, f_f .

El factor de forma relaciona la altura del depósito acumulador, H , y el diámetro del mismo, D , mediante la siguiente expresión:

$$f_f = \frac{H}{D} = 2$$

Es importante que el depósito se seleccione con un factor de forma elevado, más de dos si es posible, para favorecer la estratificación. En nuestro caso tomaremos un valor inicial del factor de forma igual a 2.

Conocido el factor de forma, podemos obtener el factor de mezcla, f_m , que representa la relación entre el volumen útil del depósito y el volumen efectivo. Si la temperatura del agua en el depósito es de 60°C y se admite que el agua caliente en salida del depósito sea todavía útil a la temperatura de 45°C, el factor de mezcla se puede calcular mediante la ecuación:

$$f_m = 0,63 + 0,14 \cdot f_f$$

donde para $f_f \geq 2,5$ se tomará $f_m = 0,98$.

Los valores típicos del factor de mezcla para determinados valores del factor de mezcla son:

f_f	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5
f_m	0,70	0,71	0,74	0,77	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	0,98

Tabla 7.- Valores del factor de mezcla.

Por tanto tenemos un factor de mezcla de: $f_m = 0,91$.

7.- Determinación del tiempo de preparación.

El tiempo de preparación, t_p , es el periodo de tiempo durante el cual, después de un periodo de consumo, se vuelve a preparar el agua elevando su temperatura desde la temperatura de consumo a la de suministro.

El tiempo de preparación se aplica por lo general al tanque de acumulación de ACS que se instala después del sistema de energía de apoyo (“acumulador de caldera”), y se elige en función de la separación temporal entre picos de demanda (suele ser una fracción de esta separación entre la mitad y los dos tercios de este tiempo). Una vez elegido el tiempo de preparación, el volumen del tanque de acumulación se elige de forma que pueda ser atendido el siguiente pico de demanda con el agua caliente contenida en el tanque. La potencia de la caldera vendrá determinada por la necesidad de calentar el tanque en el tiempo de preparación especificado. Por norma, se establece un tiempo de preparación de 3 horas.

$$t_p = 3horas = 10.800s$$

El depósito acumulador que habrá que colocar a continuación del sistema de energía de apoyo, para que sea capaz de cubrir toda la demanda en días en los que no se produce aporte de calor por parte de los captadores le denominaremos “*acumulador de caldera*”, para distinguirlo del otro depósito que va delante del sistema de energía de apoyo y al que llamaremos “*acumulador solar*”. El tamaño de este último acumulador se relaciona empíricamente con la superficie de colectores, a la que resulta ser proporcional en la mayoría de las aplicaciones, pero diferente para cada una de ellas así como en función de las condiciones climáticas de la zona. Su volumen lo calcularemos cuando diseñemos los componentes de la instalación.

8.- Cálculo del volumen total, V .

Los depósitos de acumulación deben ser diseñados de manera que se favorezca la estratificación, con el fin de suministrar agua caliente a una temperatura constante.

Al entrar el agua fría en el depósito, ésta tiende a mezclarse con el agua caliente de forma proporcional a la cantidad de movimiento (producto de la masa de agua por su velocidad residual: kg·m/s). La disposición de deflectores cerca de la entrada de agua fría atenúa notablemente el fenómeno, sin llegar a anularlo del todo.

Por tanto, es evidente la necesidad de diseñar depósitos acumuladores de pequeño diámetro y gran altura e instalarlo en posición vertical. También es evidente que, en caso de que se proyecten dos o más depósitos, éstos deben conectarse en serie sobre el circuito del agua caliente, nunca en paralelo.

Existirá siempre un volumen de acumulación que no es aprovechable por estar a una temperatura inferior a la mínima de uso y que, por tanto, deberá ser tenido en cuenta al momento de calcular el volumen total de acumulación.

El volumen útil del depósito acumulador es el siguiente:

$$V_u = \frac{C_{\max} \cdot T}{1 + \frac{T}{t_p} \cdot \frac{1}{f_m}} = \frac{C_{\max}}{\frac{1}{T} + \frac{1}{t_p \cdot f_m}} = 2.684 \text{ litros}$$

Y para el cálculo del volumen total del depósito, utilizaremos el factor de mezcla, que como hemos dicho anteriormente, relaciona el volumen útil con el volumen efectivo del depósito.

$$V = \frac{V_u}{f_m} = 2.949 \text{ litros}$$

Obtenido este valor, decidimos utilizar un acumulador de 3.000 litros.

En un principio, asumimos un factor de forma de 2. Ahora, una vez escogido el depósito acumulador, podemos calcular exactamente el valor de dicho factor de forma, $f_f = 1,4$ con lo que el factor de mezcla será, $f_m = 0,83$. El volumen total del depósito aumenta a $V = 3.068$ L, necesitando de esta manera un tanque más grande. Escogemos

el inmediatamente superior al elegido dentro de la gama que nos facilita el fabricante, por tanto tendremos un depósito de 3.500 litros.

Tenemos que calcular nuevamente el factor de forma y de mezcla, ya que las dimensiones del nuevo acumulador difieren con el anterior. Ahora tenemos un factor de forma, $f_f = 1,6$ y un factor de mezcla, $f_m = 0,85$ y el nuevo volumen efectivo del depósito necesario es de $V = 3.037$ L. De esta manera vamos a escoger un acumulador modelo BDLE de 3.500 L de acero vitrificado con revestimiento epóxico de calidad alimentaria, suministrado por la empresa *Saunier Duval*. Este será el tamaño del denominado “*acumulador de caldera*”.

9.- Cálculo de la potencia de la caldera del sistema de energía de apoyo, P .

Como se ha visto anteriormente, el volumen de agua consumido y la energía demandada durante el periodo de punta, es:

$$V_{punta} = C_{max} \cdot T$$

$$E_{punta} = 4,19 \cdot C_{max} \cdot T \cdot \Delta t$$

Por otra parte, la potencia útil de la caldera del sistema de energía de apoyo se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$P_u = \frac{4,19 \cdot \Delta t \cdot C_{max} \cdot T}{T + t_p} = \frac{4,19 \cdot \Delta t \cdot C_{max}}{1 + \frac{t_p}{T} \cdot f_m} = 61,27 kW$$

El salto térmico, Δt , se refiere a la diferencia de temperaturas entre la temperatura del agua de suministro, 60°C , y la temperatura media del agua de la red general del mes más desfavorable. A través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* vemos que la temperatura de red más baja corresponde a los meses de enero y diciembre (ver anexo II).

Los sistemas de preparación con acumulación de ACS presentan el inconveniente de tener unas pérdidas a través de la envolvente del depósito acumulador, a parte de las pérdidas en la red de distribución, comunes a todos los sistemas centralizados. Estas pérdidas producen cuantiosos consumos de energía por el hecho de tener lugar a lo largo de todo el tiempo de funcionamiento del sistema. Todas estas pérdidas se denominan *pérdidas por disponibilidad* (el sistema está a disposición de los usuarios aún cuando no exista demanda de agua caliente).

Las pérdidas a través de la envolvente del depósito, P_d , dependen del nivel de aislamiento térmico y de la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente. Si suponemos que el depósito tiene un espesor de aislamiento de 60mm y que entre la temperatura media del agua en el depósito y el ambiente hay una diferencia de 40°C , las pérdidas por disponibilidad, pueden expresarse con muy buena aproximación mediante:

$$P_d = \frac{0,55 \cdot V}{1.000} = 1,67 kW$$

Las pérdidas en la red de distribución y retorno de ACS, denominadas *pérdidas por distribución* (P_r), dependen naturalmente de la extensión de la misma y del nivel de aislamiento y deben ser calculadas. Es de suma importancia que el nivel de aislamiento cumpla con las exigencias mínimas marcadas en la reglamentación: *ITE Apéndice 03.1*.

Si el espesor de aislamiento es el indicado en la norma y la red de distribución está bien concebida y no es excesivamente extensa, los datos experimentales confirman que las pérdidas pueden calcularse, en primera aproximación, con la siguiente ecuación:

$$P_r = 0,3 \cdot P_u = 18,38kW$$

Por lo tanto, la potencia total que debe proporcionar la caldera del sistema de energía de apoyo será:

$$P = P_u + P_d + P_r = 81,33kW$$

Sin embargo, este resultado no es del todo exacto, ya que se ha considerado en una primera aproximación que las pérdidas en la red de distribución, P_r , eran el 30% de la potencia útil de la caldera del sistema de energía de apoyo. Esto no es del todo cierto, ya que dichas pérdidas son realmente el 30% de la potencia de la caldera.

$$P_r = 0,3 \cdot P = 24,40kW$$

De esta manera la potencia total queda:

$$P = P_u + P_d + P_r = 87,34kW$$

5.5.- Pérdidas en el captador solar.

En los captadores solares se produce la transformación de energía solar en forma de radiación térmica en energía útil manifestada como una elevación de la temperatura de un fluido caloportador. Esta transformación será más o menos eficiente según las pérdidas térmicas inherentes al captador, ocasionadas por procesos de transferencia de calor mediante conducción, convección y radiación.

El rendimiento de los captadores solares térmicos depende de la temperatura de proceso, además de radiación, temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, así como de parámetros del colector: espesor y calidad del aislamiento, características ópticas del absorbedor y cubierta transparente, etc. El envejecimiento y el ensuciamiento tienen también un efecto significativo sobre el rendimiento (en nuestra instalación no tienen relevancia debido a que se trata de una instalación nueva).

Una de las formas de caracterizar un captador solar es su curva de rendimiento. Existen dos normativas para ensayar colectores, en USA la *ASHARE 93* y en Europa la *EN 12975-2*. Sus modos de ensayo difieren en que la primera utiliza un modelo estacionario, sin tener en cuenta las pérdidas por viento y la segunda uno quasi-estacionario con la posibilidad de utilizar datos con velocidades de viento comprendidas entre 1 y 4 m/s. Comparando experimentalmente los resultados de ambas normativas, se ha llegado a la conclusión de que se obtienen valores similares de rendimiento, siendo no obstante menores los obtenidos por la norma europea al poderse ensayar el colector con viento.

A pesar de que con la normativa *EN 12975-2* se permite contabilizar el efecto del viento, según la base de datos del Instituto SPF (*Solartechnik Prüfung Forschung*), uno de los organismos oficiales que se dedica a la normalización de colectores, únicamente se realizan con viento el 38% de los ensayos. El hecho de que existan ensayos con viento y otros sin viento producirá diferencias entre la actuación de los captadores en condiciones reales y las predichas por la curva de normalización. Procede por tanto evaluar cómo se modifican las prestaciones de los colectores en función de valores locales de la velocidad y dirección del viento. Así como de las pérdidas térmicas inherentes al colector que se producen.

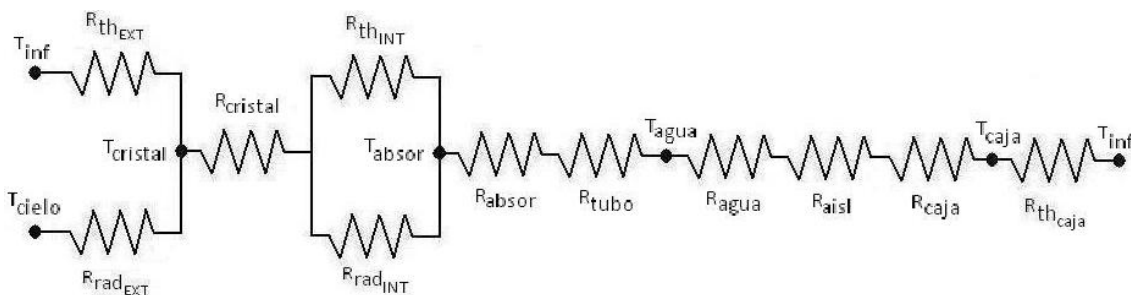


Figura 5.6.- Esquema de resistencias térmicas del colector.

En la figura 5.6 podemos ver un esquema de las diferentes resistencias térmicas que hay en un captador solar, donde:

- $R_{th_{ext}}$: convección forzada externa sobre el cristal de los colectores.

- $R_{rad_{ext}}$: radiación existente entre la superficie acristalada y el cielo.
- $R_{cristal}$: conductividad en el vidrio solar de protección (cristal).
- $R_{th_{int}}$: convección natural en la capa de aire interna entre el cristal y la placa absorbadora.
- $R_{rad_{int}}$: radiación entre la placa absorbadora y el cristal debida a la diferencia de temperaturas existentes entre ambos.
- R_{placa} : conductividad en la placa absorbadora.
- R_{tubo} : conductividad en el tubo de cobre.
- R_{agua} : convección en el interior de los tubos de cobre.
- R_{aisl} : conductividad en el aislante.
- R_{caja} : conductividad de la caja.
- $R_{th_{caja}}$: convección forzada en la parte trasera de los colectores.

Se desprecia la radiación entre la parte trasera del captador y el suelo y el pretil de la cubierta, debida a la pequeña diferencia de temperaturas existente.

En dicha figura, también apreciamos las siguientes temperaturas:

- T_{amb} : temperatura ambiente media durante las horas de sol.
- T_{cielo} : temperatura del cielo.
- $T_{cristal}$: temperatura en el vidrio solar de seguridad.
- T_{placa} : temperatura de la placa absorbadora.
- T_{agua} : temperatura media del agua dentro del tubo de cobre.
- T_{caja} : temperatura del marco de aluminio.

Para poder hallar dichas resistencias térmicas, primero debemos conocer o estimar el valor de las diferentes temperaturas. Existen una serie de correlaciones^[7] que nos relacionan la temperatura ambiente media durante las horas de sol del lugar con la temperatura del cielo, la temperatura del cristal y la de la caja:

$$T_{cielo} = 0,037536 \cdot T_{amb}^{1,5} + 0,32 \cdot T_{amb}$$

$$T_{cristal} = 1,042 \cdot T_{amb} - 2,34$$

$$T_{caja} = 1,021 \cdot T_{amb} - 1,762$$

Hay que tener en cuenta que las correlaciones utilizadas para calcular las temperaturas correspondientes a la caja y a la del cristal son orientativas para poder estimar aquellas resistencias térmicas cuyo valor depende de esas temperaturas, pero no serán consideradas como los valores reales de dichas temperaturas.

La temperatura media ambiente durante las horas de sol la podemos conocer a través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (ver anexo II).

Para poder hallar la temperatura media del agua nos valemos de la expresión del rendimiento de un captador solar:

$$\eta = a_o - a_1 \cdot \left(\frac{T_m - T_{amb}}{I_{incli}} \right)$$

donde:

η : rendimiento del captador. Según el DTIE 8.03 “*Instalaciones Solares Térmicas para Producción de Agua Caliente Sanitaria*” podemos estimar un rendimiento medio de 0,4-0,5. Para los cálculos preliminares vamos a suponer un rendimiento de 0,43 (este valor lo obtenemos mediante el valor medio anual de la temperatura ambiente y de la radiación incidente sobre la superficie inclinada, estimando una temperatura de trabajo de los colectores (muy parecida a la de la placa; para eso puede utilizarse la correlación empírica suministrada) y de esta manera obtener el rendimiento medio estimado del colector).

a_o : coeficiente óptico-ganancias, según fabricante: $a_o = 0,819$ (anexo IV).

a_1 : coeficiente de pérdidas, $a_1 = 4,227 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (anexo IV).

T_m : temperatura media del agua correspondiente a las temperaturas de entrada y de salida del captador solar. Supondremos una temperatura de entrada al colector aproximada a la temperatura media del agua de la red general.

T_{amb} : temperatura media ambiente durante las horas de sol (ver anexo II).

I_{incli} : radiación recibida por el captador solar en un plano inclinado [W/m^2].

Este último parámetro está relacionado con la inclinación a la que se oriente el panel solar. En nuestro caso, los captadores solares irán anclados a la cubierta del edificio, aprovechando de esta manera la inclinación de la misma. Según los planos del edificio la cubierta se encuentra inclinada 30° respecto a la horizontal (ver anexo V).

Para poder calcular I_{incli} , a parte de conocer la inclinación de los paneles solares, necesitamos conocer la latitud a la que se encuentra Santa Cruz de Tenerife. Tomando como fuente los datos proporcionados por CENSOLAR_[2], la ciudad se encuentra a una latitud de $28,5^\circ$ (ver anexo II).

Conociendo la latitud de Santa Cruz de Tenerife y la inclinación de los captadores solares ya podemos calcular I_{incli} , sabiendo que:

$$I_{incli} = I_{media} \cdot K_{media}$$

El factor de corrección para superficies inclinadas, k_{media} , representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo y otra superficie en horizontal. A través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* podemos obtener el

valor de este parámetro (ver anexo II). Para ello nos vamos a las tablas de latitud 28° y 29°, seleccionamos la fila de inclinación 30°, ya que es la inclinación de nuestros paneles, e interpolamos, debido a que la latitud de la ciudad es de 28,5°.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	<i>K_{media}</i> anual
<i>K_{media}</i>	1,23	1,16	1,08	0,99	0,92	0,90	0,92	0,99	1,10	1,21	1,28	1,28	1,09

Tabla 8.- Factor de corrección para superficies inclinadas para cada mes.

Ahora nos falta conocer la intensidad media útil mensual sobre la horizontal, *I_{media}*, que la obtenemos gracias al *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (ver anexo II). Por tanto, la radiación recibida sobre el captador solar en la inclinación determinada es:

	<i>K_{media}</i>	<i>I_{media}</i> [W/m ²]	<i>I_{incli}</i> [W/m ²]
Enero	1,23	350	428,75
Febrero	1,16	385	444,68
Marzo	1,08	525	564,38
Abril	0,99	590	581,15
Mayo	0,92	707	650,44
Junio	0,90	728	651,56
Julio	0,92	805	740,60
Agosto	0,99	731	727,35
Septiembre	1,10	616	674,52
Octubre	1,21	469	565,15
Noviembre	1,28	352	448,80
Diciembre	1,28	324	413,10

Tabla 9.- Radiación recibida por el captador solar en la inclinación determinada.

Una vez que conocemos la radiación que incide sobre el captador solar, ya podemos calcular el valor de la temperatura media del agua. Para ello, despejamos de la ecuación del rendimiento la temperatura de salida de los captadores solares, y sabiendo que:

$$T_m = T_{\text{agua}} = \frac{T_{ec} + T_{sc}}{2} = \frac{T_{red} + T_{sc}}{2}$$

donde:

T_{ec}: temperatura de entrada al colector [K].

T_{sc}: temperatura de salida del colector [K].

T_{red}: temperatura media del agua de la red general [K] (ver anexo II).

Nos falta conocer la temperatura de la placa absorbadora, para ello nos valemos del valor de la resistencia de la rama útil entre el agua y la placa.

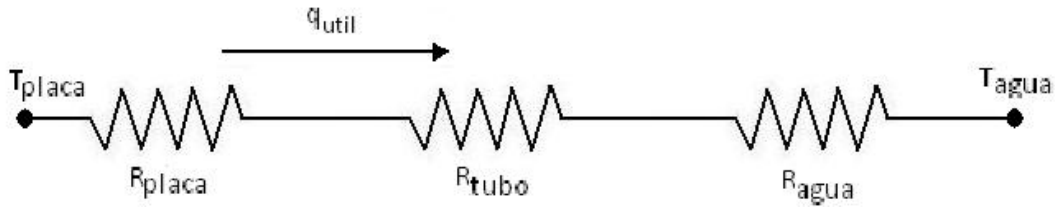


Figura 5.7.- Esquema de la rama útil entre la placa absorbidora y el agua.

Observando la figura 5.7 podemos llegar a la siguiente expresión:

$$R_{t_T} \cdot q_{\text{útil}} = T_{\text{placa}} - T_{\text{agua}}$$

donde:

R_{t_T} : resistencia térmica total o equivalente. Al estar en serie, será la suma de las resistencias.

$q_{\text{útil}}$: potencia útil [W].

Para poder calcular la temperatura de la placa absorbidora primero tenemos que calcular la potencia que se genera en la rama útil. Para un captador solar, tenemos:

$$q_{\text{útil}} = I_{\text{incli}} \cdot A \cdot \eta$$

donde:

A : área de absorción del panel solar, según el fabricante: $A = 2,02 \text{ m}^2$ (anexo IV).

η : rendimiento del colector. Supondremos un rendimiento medio para los cálculos preliminares del 0,43.

El valor obtenido de la potencia útil que se genera en la rama lo consideraremos como un valor estimativo, ya que lo que queremos conseguir con el cálculo de las resistencias térmicas que se producen en el captador solar es mejorar la predicción de $q_{\text{útil}}$ que nos proporciona el fabricante con la curva de normalización del colector. Por tanto, este cálculo lo realizamos para poder obtener valores preliminares de la temperatura de la placa absorbidora, cuyo valor necesitamos conocer para poder calcular algunas de las resistencias térmicas que hay en el captador solar.

Una vez estimada la potencia útil, sólo nos falta calcular el valor de las resistencias térmicas de la rama para poder hallar la temperatura de la placa absorbidora. Este cálculo de las resistencias lo explicaremos posteriormente.

Por tanto, las temperaturas que necesitamos conocer o estimar para poder evaluar las pérdidas que se producen en un captador solar son las que aparecen en la *Tabla 10*.

	T_{amb} [K]	T_{cielo} [K]	$T_{cristal}$ [K]	T_{placa} [K]	T_{agua} [K]	T_{caja} [K]
Enero	292	280,73	301,92	334,14	324,36	296,37
Febrero	293	282,02	302,97	336,54	326,56	297,39
Marzo	293	282,02	302,97	347,85	335,59	297,39
Abril	294	283,30	304,01	350,46	337,86	298,41
Mayo	295	284,59	305,05	357,97	344,09	299,43
Junio	297	287,16	307,13	359,91	346,17	301,48
Julio	299	289,75	309,22	370,27	354,89	303,52
Agosto	300	291,04	310,26	370,00	354,89	304,54
Septiembre	299	289,75	309,22	364,12	349,90	303,52
Octubre	298	288,46	308,18	352,74	340,65	302,50
Noviembre	296	285,87	306,09	339,76	329,87	300,45
Diciembre	293	282,02	302,97	333,60	324,18	297,39

Tabla 10.- Temperaturas del proceso.

5.5.1.- Cálculo de las resistencias térmicas.

Conocidas las temperaturas que definen el proceso para poder calcular las resistencias térmicas de un captador solar, pasamos a hallarlas.

A) Resistencias térmicas de conducción.

Si nos fijamos en la figura 5.6, observamos que hay cinco resistencias térmicas de conducción: la del vidrio solar de protección, $R_{cristal}$, la de la placa absorbadora, R_{placa} , la del tubo de cobre del captador, R_{tubo} , la del aislante, R_{aisl} , y la del marco de aluminio del panel, R_{caja} .

La resistencia de la placa absorbadora, al ser una transferencia de calor no lineal se calcula experimentalmente con un balance de energía en la placa entre la temperatura de la placa y la temperatura media del fluido que pasa por los tubos:

$$R_{placa} = 0,012 \frac{K}{W}$$

La resistencia de conducción del tubo de cobre viene dada por la expresión correspondiente a la resistencia en una pared cilíndrica:

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{D+2e}{D}\right)}{2\pi kL} = 9,959 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

donde:

D : diámetro del tubo de cobre, según fabricante $D = 8$ mm (anexo IV).

e : espesor de la placa absorbadora, $e = 2$ mm.

k : conductividad térmica del cobre, $k = 404$ W/m·K.

L : longitud del tubo de cobre, $L = 1,93$ m.

La resistencia térmica del vidrio solar de protección (cristal), la resistencia del aislante y la del marco de aluminio del captador solar (caja), vienen dadas por la siguiente expresión:

$$R_{cond} = \frac{e}{k \cdot A}$$

donde:

e : espesor [m]

k : conductividad térmica del material [W/m·K].

A : área de absorción, según el fabricante: $A = 2,02$ m² (anexo IV).

Como podemos observar las resistencias térmicas de conducción no dependen de ninguna temperatura, así pues no varían de un mes a otro del año. Y, por tanto, sus valores son constantes. Dichos valores quedan reflejados en la *Tabla 11*.

	Espesor [m]	Área [m ²]	k [W/m·K]	Resistencia [K/W]
Cristal	0,004	2,02	1,4	$5,771 \cdot 10^{-3}$
Placa absorbadora	---	---	---	0,012
Tubo de cobre	0,002	2,02	404	$9,959 \cdot 10^{-6}$
Aislante	0,04	2,02	0,041	1,971
Caja	0,005	2,02	237	$4,262 \cdot 10^{-5}$

Tabla 11.- Resistencias térmicas de conducción.

B) Resistencias térmicas de radiación.

Volviendo a la figura 5.6 vemos que hay dos resistencias térmicas de radiación: la que se produce entre la superficie acristalada y el cielo, $R_{rad_{ext}}$, y la resistencia que hay por la radiación entre la placa absorbadora y el cristal debida a la diferencia de temperaturas existentes entre ambos, $R_{rad_{int}}$.

La resistencia radiativa exterior del cristal se calcula como:

$$R_{rad_{EXT}} = \frac{1}{\varepsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot A \cdot [(T_{cristal})^2 + (T_{cielo})^2] \cdot (T_{cristal} + T_{cielo})}$$

donde:

$\varepsilon_{cristal}$: emisividad del vidrio solar de protección, $\varepsilon = 0,88$.

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²·K⁴.

A : área de absorción, $A = 2,02 \text{ m}^2$.

Como podemos ver la resistencia radiativa exterior es función de la temperatura del vidrio solar de protección y de la temperatura del cielo, por tanto tendremos un valor de resistencia distinta para cada mes del año.

La resistencia de radiación entre la placa absorbedora y el cristal del colector se define mediante la siguiente ecuación:

$$Rrad_{INT} = \frac{(\epsilon_{IRcristal} + \epsilon_{IRplaca} - \epsilon_{IRcristal} \cdot \epsilon_{IRplaca})}{\epsilon_{IRcristal} \cdot \epsilon_{IRplaca} \cdot \sigma \cdot A \cdot [(T_{placa})^2 + (T_{cristal})^2] \cdot (T_{placa} + T_{cristal})}$$

donde:

$\epsilon_{IRcristal}$: emisividad del cristal en la franja infrarroja, $\epsilon_{IRcristal} = 0,1$.

$\epsilon_{IRplaca}$: emisividad de la placa absorbedora en la franja infrarroja, $\epsilon_{IRplaca} = 0,1$.

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

A : área de absorción, $A = 2,02 \text{ m}^2$.

Como ocurría con la resistencia radiativa exterior, la resistencia radiativa interna también depende de dos temperaturas: la temperatura de la placa absorbedora y la del vidrio solar de protección. Por tanto, su valor variará para cada mes del año.

Los valores de las resistencias térmicas de radiación que se producen para cada mes del año las podemos ver en la *Tabla 12*.

	$Rrad_{EXT}$ [K/W]	$Rrad_{INT}$ [K/W]
Enero	0,1002	1,2860
Febrero	0,0990	1,2651
Marzo	0,0990	1,1979
Abril	0,0978	1,1776
Mayo	0,0967	1,1311
Junio	0,0944	1,1109
Julio	0,0922	1,0491
Agosto	0,0912	1,0459
Septiembre	0,0922	1,0796
Octubre	0,0933	1,1440
Noviembre	0,0955	1,2282
Diciembre	0,0990	1,2833

Tabla 12.- Resistencias térmicas de radiación.

C) Resistencias térmicas de convección.

Según la figura 5.6 hay cuatro resistencias de convección: la convección natural en la capa de aire interna entre el cristal y la placa absorbadora, $R_{th_{int}}$, la convección del agua en el interior del tubo de cobre, R_{agua} , la convección forzada externa sobre el cristal de los colectores, $R_{th_{ext}}$, y la convección forzada en la parte trasera de los colectores, R_{caja} .

La convección natural en el aire interior del colector se ha asemejado al flujo en una cavidad rectangular inclinada. La correlación empírica_[6] que se ha encontrado es:

$$Nu_I = 4,328 \cdot 10^{-10} \cdot (Ra_I)^2 - 1,478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra_I + 1,001$$

donde vemos que para poder hallar el Nusselt, primero tenemos que calcular el número de Rayleigh:

$$Ra_I = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha}$$

donde:

g : aceleración de la gravedad, $g = 9,81$ m/s.

β' : coeficiente de expansión térmica, $\beta' = (T_{aire})^{-1}$.

ΔT : diferencia de temperaturas entre la placa absorbadora y el cristal.

L : longitud característica. Separación entre el absorbador y el cristal, $L = 5$ mm.

ν : viscosidad cinemática del aire [$J/m^3 \cdot K$].

α : difusividad térmica del aire, $\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p}$

Para poder calcular el número de Rayleigh, primero tenemos que conocer la temperatura a la que se encuentra la capa de aire entre la placa absorbadora y el vidrio solar de protección. Y poder así definir las propiedades del aire a dicha temperatura. La temperatura la estimaremos como una media entre la temperatura de la placa absorbadora y la temperatura a la que se encuentra el cristal. Por lo que, la temperatura de la capa de aire variará de un mes a otro y, por tanto también lo harán las propiedades del aire.

Una vez definidas las propiedades del aire podemos calcular el número de Rayleigh y con éste el número de Nusselt. Conociendo el Nusselt podemos hallar el coeficiente de flujo convectivo para el aire interior del colector.

El coeficiente de flujo convectivo se define como:

$$h = \frac{k \cdot Nu}{L_c}$$

donde:

k : conductividad térmica del fluido.

L_c : longitud característica.

	T_{aire} [K]	β' [K ⁻¹]	ν [J/m ³ ·K]	k [W/m·K]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kg·K]	α [m ² /s]
Enero	318,03	0,00314	$1,770 \cdot 10^{-5}$	27,63	1,101	1,0077	24,90
Febrero	319,75	0,00313	$1,788 \cdot 10^{-5}$	27,76	1,096	1,0078	25,14
Marzo	325,41	0,00307	$1,845 \cdot 10^{-5}$	28,18	1,077	1,0080	25,96
Abril	327,24	0,00306	$1,863 \cdot 10^{-5}$	28,32	1,071	1,0081	26,23
Mayo	331,51	0,00302	$1,906 \cdot 10^{-5}$	28,63	1,057	1,0083	26,88
Junio	333,52	0,00300	$1,926 \cdot 10^{-5}$	28,78	1,050	1,0083	27,19
Julio	339,75	0,00294	$1,989 \cdot 10^{-5}$	29,24	1,029	1,0086	28,17
Agosto	340,13	0,00294	$1,993 \cdot 10^{-5}$	29,27	1,028	1,0086	28,23
Septiembre	336,67	0,00297	$1,958 \cdot 10^{-5}$	29,01	1,039	1,0085	27,68
Octubre	330,46	0,00303	$1,895 \cdot 10^{-5}$	28,55	1,060	1,0082	26,72
Noviembre	322,93	0,00310	$1,820 \cdot 10^{-5}$	28,00	1,085	1,0079	25,60
Diciembre	318,28	0,00314	$1,773 \cdot 10^{-5}$	27,65	1,101	1,0077	24,93

Tabla 13.- Propiedades de la capa de aire interior en el colector para cada mes del año.

La resistencia de convección natural en el aire interior del colector se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Rth_{INT} = \frac{1}{h \cdot A}$$

donde:

A : área de absorción, según el fabricante, $A = 2,02 \text{ m}^2$.

Como las propiedades de la capa de aire en el interior varían mes a mes, la resistencia térmica de convección natural en el aire interior del colector también variará mes a mes, como podemos ver en la *Tabla 14*.

	ΔT [K]	Ra_I	Nu_I	h [W/m ² ·K]	Rth_{INT} [K/W]
Enero	32,21	$2,818 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,532 \cdot 10^3$	$8,948 \cdot 10^{-5}$
Febrero	33,57	$2,864 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,558 \cdot 10^3$	$8,907 \cdot 10^{-5}$
Marzo	44,88	$3,532 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,642 \cdot 10^3$	$8,775 \cdot 10^{-5}$
Abril	46,45	$3,562 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,669 \cdot 10^3$	$8,733 \cdot 10^{-5}$
Mayo	52,92	$3,821 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,732 \cdot 10^3$	$8,636 \cdot 10^{-5}$
Junio	52,77	$3,705 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,762 \cdot 10^3$	$8,592 \cdot 10^{-5}$
Julio	61,05	$3,933 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,854 \cdot 10^3$	$8,456 \cdot 10^{-5}$
Agosto	59,74	$3,828 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,860 \cdot 10^3$	$8,448 \cdot 10^{-5}$
Septiembre	54,90	$3,690 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,809 \cdot 10^3$	$8,523 \cdot 10^{-5}$
Octubre	44,57	$3,266 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,717 \cdot 10^3$	$8,660 \cdot 10^{-5}$
Noviembre	33,67	$2,745 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,605 \cdot 10^3$	$8,832 \cdot 10^{-5}$
Diciembre	30,63	$2,670 \cdot 10^{-4}$	1,001	$5,536 \cdot 10^3$	$8,942 \cdot 10^{-5}$

Tabla 14.- Resistencia de convección natural en el aire interior del captador solar.

Para la convección interior del agua en los tubos hay que calcular primero el número de Reynolds y el número de Prandtl; ya que se trata de una convección en flujo interno, y la correlación que vamos a emplear es la de Dittus-Boelter_[8]:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^{0,4}$$

El número de Reynolds se define como:

$$Re_D = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

donde:

$$\dot{m} : \text{gasto másico por m}^2 \text{ de colector (anexo IV), } \dot{m} = 40 \frac{l}{h} = 0,011 \frac{kg}{s}$$

D : diámetro del tubo de cobre, $D = 8\text{mm}$.

μ : viscosidad cinemática del agua.

Y el número de Prandtl se expresa de la siguiente manera:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot C_p}{k}$$

donde:

μ : viscosidad cinemática del agua.

C_p : calor específico del agua a presión constante.

k : conductividad térmica del agua.

Como la temperatura del agua que circula por los tubos de cobre del colector varía para cada mes del año, tendremos unas propiedades del agua para cada mes.

	$T_{\text{agua}} [\text{K}]$	$\mu [\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2]$	$C_p [\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}]$	$k [\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}]$
Enero	324,36	$5,47 \cdot 10^{-4}$	4.180,60	0,631
Febrero	326,56	$5,07 \cdot 10^{-4}$	4.182,45	0,636
Marzo	335,59	$4,34 \cdot 10^{-4}$	4.185,30	0,647
Abril	337,86	$4,35 \cdot 10^{-4}$	4186,90	0,651
Mayo	344,09	$4,04 \cdot 10^{-4}$	4.189,50	0,658
Junio	346,17	$3,79 \cdot 10^{-4}$	4.192,90	0,662
Julio	354,89	$3,54 \cdot 10^{-4}$	4.196,30	0,671
Agosto	354,89	$3,54 \cdot 10^{-4}$	4.196,30	0,671
Septiembre	349,90	$3,82 \cdot 10^{-4}$	4.194,50	0,665
Octubre	340,65	$4,04 \cdot 10^{-4}$	4.189,50	0,652
Noviembre	329,87	$4,67 \cdot 10^{-4}$	4.184,30	0,643
Diciembre	324,18	$5,47 \cdot 10^{-4}$	4.180,60	0,631

Tabla 15.- Propiedades del agua que circula por los tubos para cada mes del año.

Una vez hallado el valor del número de Nusselt, podemos calcular el coeficiente de flujo convectivo para el agua en el interior de los tubos, ya que:

$$h = \frac{k \cdot Nu_D}{L_c}$$

donde:

k : conductividad térmica del agua.

L_c : longitud característica; en nuestro caso es el diámetro, D .

Conociendo el valor de h , podemos calcular cuánto vale la resistencia térmica de convección del agua en el interior de los tubos de cobre.

$$R_{agua} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{h \cdot \pi \cdot D \cdot L}$$

donde:

D : diámetro del tubo.

L : longitud del tubo (anexo IV), $L = 1,93\text{m}$.

El valor de dicha resistencia para cada mes del año queda reflejado en la *Tabla 16*.

	<i>Re</i>	<i>Pr</i>	<i>Nu</i>	<i>h</i> [W/m ² ·K]	<i>R_{agua}</i> [K/W]
Enero	3.233	3,62	24,72	1.949,93	0,0106
Febrero	3.490	3,33	25,41	2.020,36	0,0102
Marzo	4.072	2,81	26,85	2.171,89	0,0095
Abril	4.063	2,80	26,77	2.178,26	0,0095
Mayo	4.377	2,57	27,47	2.259,16	0,0091
Junio	4.663	2,40	28,11	2.326,34	0,0089
Julio	4.990	2,22	28,74	2.410,36	0,0086
Agosto	4.990	2,22	28,74	2.410,36	0,0086
Septiembre	4.634	2,41	28,00	2.327,14	0,0089
Octubre	4.377	2,60	27,57	2.246,78	0,0092
Noviembre	3.791	3,04	26,16	2.102,50	0,0098
Diciembre	3.233	3,62	24,72	1.949,93	0,0106

Tabla 16.- Resistencia de convección del agua en el interior de los tubos de cobre del colector.

Para estudiar la convección forzada en el exterior de los colectores debida al efecto del viento, tanto para el cristal (parte superior) como para la caja (parte posterior), tenemos que conocer la velocidad media del viento, así como su dirección predominante en Santa Cruz de Tenerife. En el anexo III podemos encontrar la velocidad y dirección del viento que hay para cada mes del año. Observamos que los datos de la velocidad están dados en intervalos de 5 nudos; por tanto, calcularemos la velocidad como la media de dicho intervalo. Con la dirección del viento ocurre lo mismo.

En la *Tabla 17* podemos ver como la dirección predominante del viento en Santa Cruz de Tenerife es Norte – Oeste, y como los paneles están orientados hacia el Sur,

podemos estimar que la componente principal de la dirección del viento es paralela al colector solar.

	Velocidad [m/s]	Dirección [°]
Enero	4,12	120
Febrero	4,12	330
Marzo	4,12	330
Abril	4,12	330
Mayo	4,12	330
Junio	6,69	330
Julio	6,69	300
Agosto	6,69	300
Septiembre	4,12	330
Octubre	4,12	330
Noviembre	4,12	300
Diciembre	4,12	300

Tabla 17.- *Velocidad y dirección del viento mensuales.*

La temperatura ambiente media durante las horas del sol varía para cada mes del año, y, por tanto, las propiedades del aire en el exterior del colector no serán las mismas para cada mes.

	ρ [kg/m ³]	μ [N·s/m ²]	C_p [J/kg·K]	k [W/m·K]
Enero	1,1987	180,60	1,0068	25,66
Febrero	1,1941	181,10	1,0069	25,74
Marzo	1,1941	181,10	1,0069	25,74
Abril	1,1894	181,60	1,0069	25,82
Mayo	1,1847	182,10	1,0069	25,90
Junio	1,1754	183,10	1,0069	26,06
Julio	1,1661	184,10	1,0070	26,22
Agosto	1,1614	184,60	1,0070	26,30
Septiembre	1,1661	184,10	1,0070	26,22
Octubre	1,1707	183,60	1,0070	26,14
Noviembre	1,1801	182,60	1,0069	25,98
Diciembre	1,1941	181,10	1,0069	25,74

Tabla 18.- *Propiedades del aire exterior a la temperatura ambiente media durante las horas de sol.*

Una vez que conocemos las propiedades del aire exterior podemos calcular los números adimensionales de Reynolds y Prandtl. El número de Reynolds lo podemos expresar de la siguiente manera:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$$

donde:

ρ : densidad del aire.

V : velocidad del viento.

L : longitud característica, en este caso 1,160 m.

μ : viscosidad cinemática del aire.

Las correlaciones que hemos empleado para calcular el número de Nusselt son: para la parte superior (cristal), $Nu_{sup} = 0,105 \cdot Re^{0,646} \cdot Pr^{1/3}$. Y para la parte posterior (caja): $Nu_{inf} = 8,948 \cdot Re^{0,385} \cdot Pr^{1/3}$.

Con todos estos datos podemos hallar el coeficiente de flujo convectivo del aire exterior, tanto para la parte superior del colector como para la parte posterior (ver *Tabla 19*). El coeficiente de flujo convectivo viene dado por la siguiente expresión:

$$h = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{L_c}$$

donde:

k : conductividad térmica del aire.

L_c : longitud característica.

	Re	Pr	Nu_{sup}	Nu_{inf}	$h_{sup} [W/m^2 \cdot K]$	$h_{inf} [W/m^2 \cdot K]$
Enero	0,0317	7,0863	0,0217	4,5226	0,4798	100,0430
Febrero	0,0315	7,0840	0,0216	4,5105	0,4792	100,0869
Marzo	0,0315	7,0840	0,0216	4,5105	0,4792	100,0869
Abril	0,0313	7,0817	0,0215	4,4985	0,4785	100,1296
Mayo	0,0311	7,0794	0,0214	4,4864	0,4779	100,1711
Junio	0,0498	7,0749	0,0290	5,3780	0,6519	120,8205
Julio	0,0492	7,0704	0,0288	5,3492	0,6501	120,9107
Agosto	0,0488	7,0681	0,0286	5,3348	0,6492	120,9536
Septiembre	0,0303	7,0704	0,0210	4,4385	0,4753	100,3254
Octubre	0,0305	7,0726	0,0211	4,4505	0,4760	100,2886
Noviembre	0,0309	7,0771	0,0213	4,4744	0,4773	100,2115
Diciembre	0,0315	7,0840	0,0216	4,5105	0,4792	100,0869

Tabla 19.- Coeficiente de flujo convectivo para el aire en el exterior del colector solar.

Para calcular la resistencia térmica de convección forzada del aire debida al efecto del viento en el exterior del captador solar, tenemos que:

$$Rth_{VIENTO} = \frac{1}{h \cdot A}$$

donde:

A : área de absorción, según el fabricante, $A = 2,02 \text{ m}^2$.

Los valores de dichas resistencias quedan reflejadas en la *Tabla 20*.

	$R_{th_{EXT}}$ [K/W]	$R_{th_{CAJA}}$ [K/W]
Enero	1,0318	0,0049
Febrero	1,0331	0,0049
Marzo	1,0331	0,0049
Abril	1,0345	0,0049
Mayo	1,0359	0,0049
Junio	0,7594	0,0041
Julio	0,7615	0,0041
Agosto	0,7626	0,0041
Septiembre	1,0415	0,0049
Octubre	1,0401	0,0049
Noviembre	1,0373	0,0049
Diciembre	1,0331	0,0049

Tabla 20.- Resistencias de convección forzada debidas al efecto del viento en el exterior del colector.

Con estas dos últimas resistencias hemos terminado de calcular todas las resistencias térmicas que se producen en un colector solar.

Como podemos ver, y como cabía esperar, la resistencia térmica de conducción del aislante es elevada en comparación con el resto de algunas de las resistencias halladas, esto se debe a que, como es lógico, el aislante tiene que impedir la pérdida de carga calorífica en el captador solar. El valor de esta resistencia es totalmente independiente de las condiciones climatológicas, sólo depende de la geometría del panel y de las características del material aislante.

Observamos que la resistencia térmica de radiación en el interior del colector es también elevada, esto se debe a que la capa de aire en el interior del captador se utiliza como aislante térmico y evitar las pérdidas de calor hacia el exterior. En cambio, la resistencia de convección en el interior es baja para favorecer la transferencia de calor desde el vidrio de seguridad hasta la placa absorbidora, que es la encargada de transferir la energía del sol al fluido caloportador.

Respecto a la resistencia de convección exterior, vemos que esta es la que más influye a la hora de que se produzcan pérdidas en el colector solar, debido al efecto del viento sobre los paneles.

A continuación, tendremos que calcular los coeficientes globales de transferencia de calor asociados a dichas resistencias y de esta manera poder calcular las pérdidas que se producen en el captador solar.

5.5.2.- Cálculo de las pérdidas del colector solar.

Para evaluar las pérdidas que se producen en el colector solar tenemos que calcular primero un coeficiente global de transferencia de calor. Éste ha de ir asociado a un área, en nuestro caso diferenciaremos dos áreas: la de la parte superior del colector solar y la de la parte inferior del mismo. El coeficiente global de transferencia de calor asociado a la parte superior engloba las pérdidas que se producen desde el vidrio solar de

protección hasta la placa absorbadora, y el coeficiente asociado a la parte inferior tiene en cuenta las pérdidas que se producen desde la capa de aislante hasta lo que hemos denominado caja (parte posterior del panel). Las pérdidas por radiación que se producen entre la parte trasera del colector y el suelo y el pretil de la cubierta se desprecian, debida a la pequeña diferencia de temperaturas existente.

Si nos fijamos en la figura 5.6, observamos que el vidrio solar de protección se encuentra a dos temperaturas distintas: temperatura ambiente media durante las horas de sol, T_{amb} , y temperatura del cielo, T_{cielo} . Por tanto, tendremos dos coeficientes globales de transferencia de calor para la parte superior, cada uno de ellos asociado a una de esas temperaturas.

El coeficiente global de transferencia de calor se define como:

$$U = \frac{1}{Rt_T \cdot A}$$

donde:

Rt_T : resistencia térmica total o equivalente.

A : área de absorción, según el fabricante $A = 2,02 \text{ m}^2$.

Para poder calcular los diferentes coeficientes de transferencia de calor nos basta con calcular las resistencias térmicas equivalentes para cada ramal. Para la parte superior tenemos que:

$$Rt_{Tamb} = Rth_{EXT} + R_{cristal} + \left(\frac{1}{Rrad_{INT}} + \frac{1}{Rth_{INT}} \right)^{-1} + R_{placa}$$

$$Rt_{Tcielo} = Rrad_{EXT} + R_{cristal} + \left(\frac{1}{Rrad_{INT}} + \frac{1}{Rth_{INT}} \right)^{-1} + R_{placa}$$

Y para la parte inferior, la resistencia térmica equivalente vale:

$$Rt_{Tinf} = R_{aisl} + R_{caja} + Rth_{CAJA}$$

Con estos datos ya podemos calcular los coeficientes globales de transferencia de calor que se producen en el panel.

Conociendo los coeficientes globales de transferencia de calor podemos hallar las pérdidas que se producen en el colector solar mediante la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

donde:

U : coeficiente global de transferencia de calor.

A : área de absorción.

ΔT : salto térmico.

	$R_{t_{amb}}$ [K/W]	$R_{t_{cielo}}$ [K/W]	$R_{t_{inf}}$ [K/W]	U_{amb} [W/m ² ·K]	U_{cielo} [W/m ² ·K]	U_{inf} [W/m ² ·K]
Enero	1,0497	0,1180	1,9757	0,4716	4,1937	0,2506
Febrero	1,0510	0,1169	1,9757	0,4710	4,2363	0,2506
Marzo	1,0510	0,1169	1,9757	0,4710	4,2363	0,2506
Abril	1,0524	0,1157	1,9757	0,4704	4,2791	0,2506
Mayo	1,0537	0,1145	1,9757	0,4698	4,3222	0,2506
Junio	0,7773	0,1123	1,9749	0,6369	4,4088	0,2507
Julio	0,7794	0,1101	1,9749	0,6352	4,4963	0,2507
Agosto	0,7804	0,1090	1,9749	0,6343	4,5403	0,2507
Septiembre	1,0594	0,1101	1,9757	0,4673	4,4963	0,2506
Octubre	1,0580	0,1112	1,9757	0,4679	4,4524	0,2506
Noviembre	1,0551	0,1134	1,9757	0,4692	4,3653	0,2506
Diciembre	1,0510	0,1169	1,9757	0,4710	4,2363	0,2506

Tabla 21.- Coeficientes globales de transferencia de calor.

Particularizando dicha expresión para cada superficie, tenemos que:

$$Q_{amb} = U_{amb} \cdot A \cdot (T_{placa} - T_{amb})$$

$$Q_{cielo} = U_{cielo} \cdot A \cdot (T_{placa} - T_{cielo})$$

$$Q_{inf} = U_{inf} \cdot A \cdot (T_{agua} - T_{amb})$$

Las pérdidas asociadas a la parte superior del colector serán la suma de las pérdidas que se producen en el ramal de la temperatura ambiente y el ramal de la temperatura del cielo. Y las pérdidas totales del colector serán la suma de las pérdidas asociadas a la parte superior e inferior del captador solar.

	Q_{amb} [W]	Q_{cielo} [W]	Q_{inf} [W]	$Q_{PERDIDAS}$ [W]
Enero	40,142	452,390	16,377	508,909
Febrero	41,423	466,537	16,985	524,945
Marzo	52,187	563,354	21,558	637,099
Abril	53,653	580,535	22,198	656,386
Mayo	59,761	640,703	24,845	725,309
Junio	80,933	647,824	24,899	753,655
Julio	91,449	731,358	28,301	851,108
Agosto	89,689	724,123	27,795	841,607
Septiembre	61,470	675,489	25,765	762,724
Octubre	51,744	578,185	21,587	651,515
Noviembre	41,472	475,137	17,143	533,752
Diciembre	38,628	441,398	15,779	495,805

Tabla 22.- Pérdidas en el colector solar.

5.6.- Cálculo del área de colectores.

Antes de explicar los cálculos realizados para la obtención del área de captadores solares, representamos un esquema de la instalación para que se entiendan mejor las ecuaciones empleadas en los cálculos.

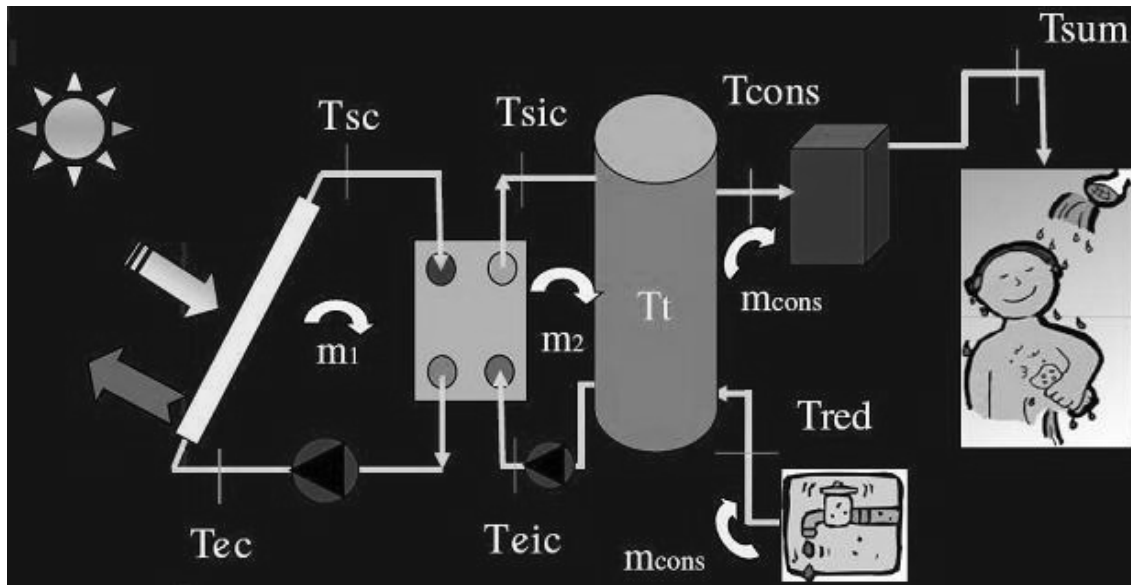


Figura 5.8.- Esquema de la instalación (fuente: apuntes de la asignatura de Energías Renovables).

Como podemos observar en la figura 5.8, nuestra instalación solar térmica está constituida por tres circuitos.

1) Circuito primario.

Esta formado por los captadores solares y las tuberías que los unen. En este circuito, el fluido de trabajo recoge la energía térmica absorbida por los captadores solares y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambiador de calor. También nos encontramos con una bomba, que es la encargada de producir la circulación forzada del circuito. Además aparecen dos componentes más, el vaso de expansión y el disipador térmico.

2) Circuito secundario.

En éste se recoge la energía captada en el circuito primario a través del intercambiador de calor y se transfiere al sistema de acumulación. La bomba tiene la misma función que para el circuito primario. En este circuito no hace falta la presencia de un vaso de expansión, ya que el tanque de almacenamiento cumple la función de éste.

3) Circuito de consumo.

Parte de la red de alimentación de agua fría y llega a los puntos de consumo.

A continuación, vamos a definir las variables que aparecen en el esquema de nuestra instalación.

Aparecen tres flujos másicos [kg/s]:

- \dot{m}_1 : flujo másico del circuito primario.
- \dot{m}_2 : flujo másico del circuito secundario.
- \dot{m}_{cons} : flujo másico del circuito de consumo.

También definimos las distintas temperaturas que aparecen en el esquema de la instalación [K]:

- T_{ec} : temperatura de entrada del captador solar.
- T_{sc} : temperatura de salida del captador solar.
- T_{eic} : temperatura de entrada al intercambiador de calor.
- T_{sic} : temperatura de salida del intercambiador de calor.
- T_{red} : temperatura media del agua de la red general.
- T_{cons} : temperatura de consumo. Es decir, la temperatura que somos capaces de suministrar si solo actúa la instalación solar térmica.
- T_{sum} : temperatura a la que debemos suministrar el agua. Será siempre constante y de valor 60°C.
- T_t : temperatura media del tanque.

El sistema de apoyo auxiliar actuará siempre que la temperatura de consumo sea inferior a 60°C, ya que debemos alcanzar dicha temperatura para cumplir con la norma UNE – 100.030 sobre prevención de la legionela.

Una vez definido el esquema de la instalación solar térmica, podemos pasar a explicar los cálculos realizados para la obtención del área necesaria de captadores solares.

Las incógnitas que tenemos que hallar son: las temperaturas de entrada y de salida del captador solar, las temperaturas de entrada y salida del intercambiador de calor, la temperatura media del tanque, la temperatura de consumo y el área de colectores solares. Es decir, tenemos siete incógnitas, por tanto, tenemos que plantear siete ecuaciones.

Los gastos másicos, tanto del circuito primario como del circuito secundario, los estimaremos y el del circuito de consumo lo calculamos con anterioridad en el punto 5.2 (ver *Tabla 3*).

1.- Balance de energía en los colectores solares.

Aplicando el primer principio de la termodinámica en los captadores, tenemos que:

$$\frac{dE_c}{dt} = I_{incli} \cdot A - \dot{Q}_{PERD} - \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{sc} - T_{ec})$$

Para poder calcular el balance de energía en los colectores, éstos han de estar en régimen estacionario, por tanto: $\frac{dE_c}{dt} = 0$, y la ecuación que nos queda es la siguiente:

$$I_{incli} \cdot A = \dot{Q}_{PERD} + \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{sc} - T_{ec})$$

donde:

I_{incli} : radiación recibida por el captador solar en un plano inclinado [W/m^2].

A : área de absorción, según el fabricante: $A = 2,02 m^2$.

\dot{Q}_{PERD} : pérdidas que se producen en el colector solar debidas a las resistencias térmicas [W].

Cp_1 : calor específico del fluido caloportador que circula por el primario, en nuestro caso agua.

Los cálculos preliminares de dimensionado del campo de colectores los vamos a realizar con valores medios anuales de las variables de la instalación.

La radiación media anual recibida por el colector solar en un plano inclinado, I_{inxli} , la podemos hallar como:

$$I_{incli} = k_{media\ anual} \cdot I_{media\ anual} = 1,09 \cdot 548,5 = 597,86 W/m^2$$

Para poder conocer el valor de la Cp del agua, tenemos que calcular el valor medio de la temperatura del agua que circula por los tubos del captador solar. En la *Tabla 10*, tenemos el valor de dicha temperatura para cada mes del año. Por tanto, la temperatura media anual del agua es: $T_{agua} = 339,08 K$. Y el valor del calor específico para el fluidocaloportador que circula por el circuito primario será: $Cp_1 = 4.189,5 J/kg \cdot K$.

En la *Tabla 22*, vemos las pérdidas que se producen en el colector solar para cada mes del año. Calculando la media de éstas, tenemos que: $\dot{Q}_{PERD} = 661,90 W$.

La radiación que recibe el captador solar, es la radiación que llega a la placa absorbadora, es decir la que atraviesa el cristal. Por tanto, habrá que tener en cuenta el rendimiento óptico del captador solar, $\eta_o = 0,819$. Obtenido de la curva de normalización (coeficiente a_0).

La ecuación de conservación de la energía para los colectores solares queda definitivamente expresada de la siguiente manera:

$$\boxed{\eta_o \cdot I_{incli} \cdot A = \dot{Q}_{PERD} + \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{sc} - T_{ec})} \quad (I)$$

2.- Balance de energía en el intercambiador de calor.

$$\dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{sc} - T_{ec}) = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{sic} - T_{eic})$$

Debido a la situación geográfica de Santa Cruz de Tenerife el riesgo que se produzcan heladas es prácticamente nulo y por tanto no hace falta emplear anticongelante en la instalación. De esta manera, tanto en el circuito primario como en el secundario, circula únicamente agua y, por tanto, la C_p es la misma para los dos miembros de la ecuación y puede ser simplificada.

El intercambiador de calor que vamos a emplear en la instalación es simétrico, es decir, el flujo másico que circula por el circuito primario, \dot{m}_1 , es igual al flujo que circula por el secundario, \dot{m}_2 . Por tanto, también los podemos simplificar de la ecuación del balance de energía.

Teniendo en cuenta las consideraciones tomadas, la ecuación del balance de energía para el intercambiador de calor finalmente nos queda:

$$T_{sc} - T_{ec} = T_{sic} - T_{eic} \quad (\text{II})$$

La eficiencia de un intercambiador de calor se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{sic} - T_{eic})}{C_{\min} \cdot (T_{sc} - T_{eic})}$$

donde:

$$C_{\min} = \min(\dot{m}_1 \cdot C_{p1}, \dot{m}_2 \cdot C_{p2})$$

Como hemos dicho anteriormente, el intercambiador de calor es simétrico, es decir: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$. Y, tanto por el circuito primario, como por el secundario circula agua, así que: $C_{p1} = C_{p2}$. De esta manera, la eficiencia del intercambiador de calor nos queda:

$$\varepsilon = \frac{T_{sic} - T_{eic}}{T_{sc} - T_{eic}} = 0,7 \quad (\text{III})$$

La eficiencia de un intercambiador de calor de placas planas^[8], normalmente está comprendido entre un 70% y un 80%. Para poder realizar los cálculos vamos a considerar una eficiencia de nuestro intercambiador de calor de un 70% (esta hipótesis se satisfará después, eligiendo adecuadamente el intercambiador de calor a emplear).

3.- Contribución solar mínima anual.

La contribución solar (o fracción solar) mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual.

La fracción solar depende de la zona climática en la que se encuentre la instalación, de los diferentes niveles de demanda diaria de agua caliente sanitaria (ACS) para una temperatura de referencia de 60°C y de la fuente de energía auxiliar.

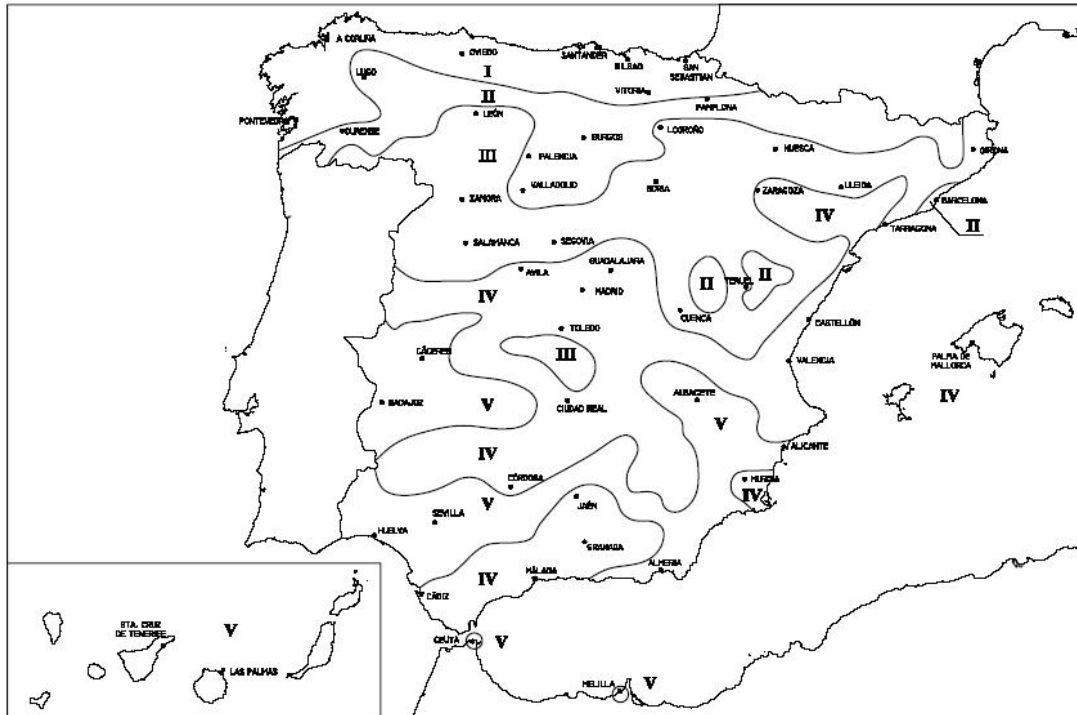


Figura 5.9.- Zonas climáticas de España (fuente: CTE).

En la figura 5.9 vemos como Santa Cruz de Tenerife se encuentra en la zona climática V.

En la *Tabla 23* podemos ver la contribución solar mínima anual que ha de tener una instalación solar con un sistema de apoyo de energía auxiliar de gas natural, en función de la zona climática en la que se encuentre y de la demanda diaria de ACS.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 23.- Contribución solar mínima en %.

Al encontrarnos en la zona climática V, independientemente de la demanda diaria de ACS, la contribución solar o fracción solar mínima anual es del 70%.

La ecuación que define la fracción solar para nuestra instalación es la siguiente:

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot C_{p_{cons}} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot C_{p_{cons}} \cdot (T_{sum} - T_{red})} = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} = 0,7 \quad (IV)$$

La temperatura de suministro, T_{sum} , será siempre constante y de valor 60°C (333 K), para así cumplir con la norma UNE – 100.030 sobre prevención de la legionela.

El valor anual de la temperatura media del agua de la red general, T_{red} , la podemos conocer a través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (ver anexo II): $T_{red} = 12,3^{\circ}\text{C}$ (285,3 K).

Conociendo T_{red} y T_{sum} , podemos calcular la temperatura de consumo:

$$T_{cons} = 0,7 \cdot T_{sum} + 0,3 \cdot T_{red} = 45,69^{\circ}\text{C} = 318,69\text{K} \Rightarrow \boxed{T_{cons} = 45,69^{\circ}\text{C}}$$

4.- Balance de energía en el tanque.

$$\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{sic} - T_{eic}) = \dot{m}_{cons} \cdot C_{p_{cons}} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

donde:

C_{p2} : calor específico del agua que circula por el circuito secundario.

$C_{p_{cons}}$: calor específico del agua para el circuito de consumo.

La temperatura media del agua que circula tanto por el circuito secundario como por el de consumo es prácticamente la misma y, por tanto, el valor del calor específico del agua para ambos circuitos será muy similar y se puede simplificar de la ecuación.

$$\boxed{\dot{m}_2 \cdot (T_{sic} - T_{eic}) = \dot{m}_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})} \quad (\text{V})$$

5.- Grado de estratificación del tanque.

Cuando un acumulador se encuentra estratificado la temperatura del mismo es función de su altura vertical, decreciendo la temperatura de la parte superior a la inferior.

Cuando el tanque de acumulación está completamente mezclado, se cumple la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_2 \cdot C_p \cdot T_{sic} + \dot{m}_{cons} \cdot C_p \cdot T_{red} = (\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}) \cdot C_p \cdot T_t$$

Despejando de dicha ecuación la temperatura media del tanque, llegamos a la sexta ecuación:

$$\boxed{T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{sic} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}}} \quad (\text{VI})$$

El grado de estratificación del tanque, E_t , está comprendido entre 0 y 1; es decir, cuando el tanque acumulador no está estratificado, $E_t = 0$ y cuando está completamente estratificado, $E_t = 1$. Por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Si } E_t = 0 &\rightarrow T_{cons} = T_t \\ \text{Si } E_t = 1 &\rightarrow T_{cons} = T_{sic} \end{aligned}$$

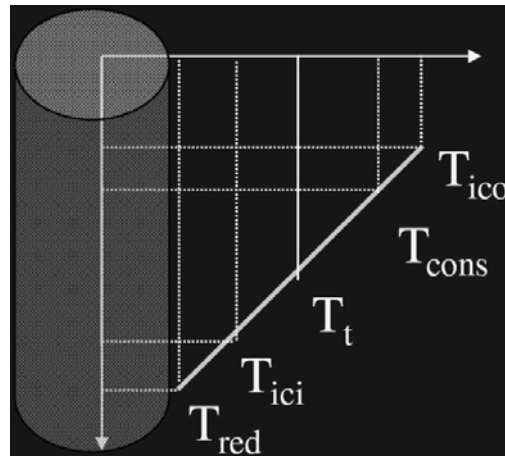


Figura 5.10.- Temperatura del tanque según el grado de estratificación (fuente: apuntes de la asignatura Energías Renovables).

Con esto podemos establecer una relación entre la temperatura de consumo, la temperatura del tanque y el grado de estratificación del mismo:

$$T_{cons} = T_t + (T_{sic} - T_t) \cdot E_t \rightarrow E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{sic} - T_t} \quad (\text{VII})$$

Para resolver el sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas que se nos plantea, hemos empleado el programa MATHCAD 14. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Temperatura entrada captador solar, T_{ec} [K]	317,92
Temperatura salida captador solar, T_{sc} [K]	364,84
Temperatura entrada intercambiador de calor, T_{eic} [K]	297,81
Temperatura salida intercambiador de calor, T_{eic} [K]	344,73
Temperatura consumo, T_{cons} [K]	318,69
Temperatura media del tanque, T_t [K]	310,01
Área colectores solares, A [m ²]	37,91

Tabla 24.- Solución del sistema de ecuaciones.

Una manera sencilla de saber si las estimaciones que hemos realizado para poder hallar la solución del sistema de ecuaciones son correctas, es comparar el valor de la temperatura media del agua que circula por los colectores solares. En la *Tabla 10* tenemos el valor estimado de la temperatura media del agua para cada mes del año, si calculamos la media de dicha temperatura obtenemos que: $T_{aguaE} = 339$ K. Ahora comparamos este valor con la temperatura media comprendida entre las temperaturas de salida y entrada del colector solar: $T_{aguaC} = 341$ K. Observamos que la diferencia entre

ambas temperaturas es de 2°, así que podemos asegurar que los cálculos obtenidos son correctos.

Por tanto, vamos a necesitar, en un principio, un área total de **38 m² de captadores solares**. Este valor puede variar debido a que el *Código Técnico de la Edificación* exige una contribución solar mínima anual del 70% y puede que con este valor de área no cumplamos este requisito.

5.7.- Fracción solar mínima anual.

La fracción solar depende de la zona climática en la que se encuentre la instalación, de los diferentes niveles de demanda diaria de agua caliente sanitaria (ACS) para una temperatura de referencia de 60°C y de la fuente de energía auxiliar.

Como sabemos Santa Cruz de Tenerife se encuentra en la zona climática V; e, independientemente de la demanda diaria de ACS, la contribución solar o fracción solar mínima anual es del 70% (véase *Tabla 23*).

La contribución solar (o fracción solar) mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida, \dot{Q}_{SOLAR} , y la demanda energética anual, \dot{Q}_{ACS} :

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{solar_i}}{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{acs_i}}$$

La demanda energética anual, \dot{Q}_{ACS} , es la potencia calorífica mensual de ACS demandada que calculamos anteriormente (véase *Tabla 4*).

La energía solar aportada exigida viene dada por la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{SOLAR} = \dot{m}_{cons} \cdot Cp_2 \cdot N \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

donde:

\dot{m}_{cons} : flujo másico del circuito de consumo ($\dot{m}_{cons} = \dot{m}_d$).

Cp_2 : calor específico del agua que circula por el secundario: 4.189,5 J/kg·K

N : número de días del mes.

T_{cons} : temperatura de consumo. Es decir, la temperatura que somos capaces de suministrar si solo actúa la instalación solar térmica.

T_{red} : temperatura media del agua de la red general.

Para poder calcularla necesitamos conocer la temperatura de consumo que hay para cada mes del año. Para ello tenemos que volver a resolver el sistema de ecuaciones, pero empleando esta vez valores medios mensuales, ya que queremos hallar el valor de la temperatura de consumo para cada mes. Fijaremos el área de colectores solares (38 m²) y como nueva incógnita impondremos la temperatura de consumo.

	\dot{m}_{cons} [kg/s]	N	T_{cons} [K]	T_{red} [K]	\dot{Q}_{SOLAR} [kW]	\dot{Q}_{ACS} [kW]
Enero	0,142	31	302,567	281	399,003	959,851
Febrero	0,139	28	304,846	282	371,444	827,309
Marzo	0,132	31	314,565	284	523,189	836,843
Abril	0,140	30	315,663	286	521,512	824,444
Mayo	0,133	31	321,942	287	605,682	795,552
Junio	0,128	30	324,293	288	585,391	724,185
Julio	0,116	31	334,49	289	682,373	658,526
Agosto	0,091	31	344,935	288	673,754	531,310
Septiembre	0,117	30	328,12	287	603,556	673,653
Octubre	0,124	31	318,523	286	525,806	758,136
Noviembre	0,131	30	308,447	284	402,206	804,328
Diciembre	0,138	31	302,372	281	382,928	929,585
SUMA					6.276,843	9.323,723

Tabla 25.- Energía solar aportada por 38 m² de colectores solares.

De esta manera tenemos una fracción solar mínima anual de:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{solar_i}}{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{acs_i}} = \frac{6.276,843}{9.323,723} = 0,673$$

Vemos que la fracción solar anual mínima está por debajo del 70% exigido por el *Código Técnico de la Edificación*. Por tanto, tendremos que ir aumentando el área de paneles solares hasta llegar a los requisitos exigidos.

	\dot{m}_{cons} [kg/s]	N	T_{cons} [K]	T_{red} [K]	\dot{Q}_{SOLAR} [kW]	\dot{Q}_{ACS} [kW]
Enero	0,142	31	303,212	281	410,936	959,851
Febrero	0,139	28	305,529	282	382,549	827,309
Marzo	0,132	31	315,477	284	538,799	836,843
Abril	0,140	30	316,548	286	537,072	824,444
Mayo	0,133	31	322,984	287	623,744	795,552
Junio	0,128	30	325,377	288	602,875	724,185
Julio	0,116	31	335,848	289	702,744	658,526
Agosto	0,091	31	346,635	288	693,871	531,310
Septiembre	0,117	30	329,347	287	621,566	673,653
Octubre	0,124	31	319,494	286	541,505	758,136
Noviembre	0,131	30	309,178	284	414,233	804,328
Diciembre	0,138	31	303,012	281	394,395	929,585
SUMA					6.464,287	9.323,723

Tabla 26.- Energía solar aportada por 39 m² de colectores solares.

Para un área de 39 m² de colectores solares tenemos que la fracción solar mínima anual vale:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{solar_i}}{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{acs_i}} = \frac{6.464,287}{9.323,723} = 0,693$$

Tampoco con esta área de paneles solares somos capaces de llegar al mínimo exigido, pero a la vista del resultado obtenido, para 40 m² de captadores solares deberíamos cubrir la demanda.

	\dot{m}_{cons} [kg/s]	N	T_{cons} [K]	T_{red} [K]	\dot{Q}_{SOLAR} [kW]	\dot{Q}_{ACS} [kW]
Enero	0,142	31	303,803	281	421,870	959,851
Febrero	0,139	28	306,155	282	392,727	827,309
Marzo	0,132	31	316,314	284	553,127	836,843
Abril	0,140	30	317,36	286	551,348	824,444
Mayo	0,133	31	323,94	287	640,315	795,552
Junio	0,128	30	326,371	288	618,908	724,185
Julio	0,116	31	337,094	289	721,434	658,526
Agosto	0,091	31	348,195	288	712,331	531,310
Septiembre	0,117	30	330,473	287	638,093	673,653
Octubre	0,124	31	320,385	286	555,910	758,136
Noviembre	0,131	30	309,849	284	425,272	804,328
Diciembre	0,138	31	303,598	281	404,894	929,585
SUMA					6.636,228	9.323,723

Tabla 27.- Energía solar aportada por 40 m² de colectores solares.

Tenemos que, para 40 m² de paneles solares, la fracción solar mínima anual vale:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{solar_i}}{\sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{acs_i}} = \frac{6.636,228}{9.323,723} = 0,712$$

Por tanto, para un área de 40 m² de captadores solares, somos capaces de cubrir el 70% de la demanda de ACS exigida por el *Código Técnico de la Edificación*.

El valor de la fracción solar que tenemos para cada mes del año la podemos ver en la *Tabla 28*.

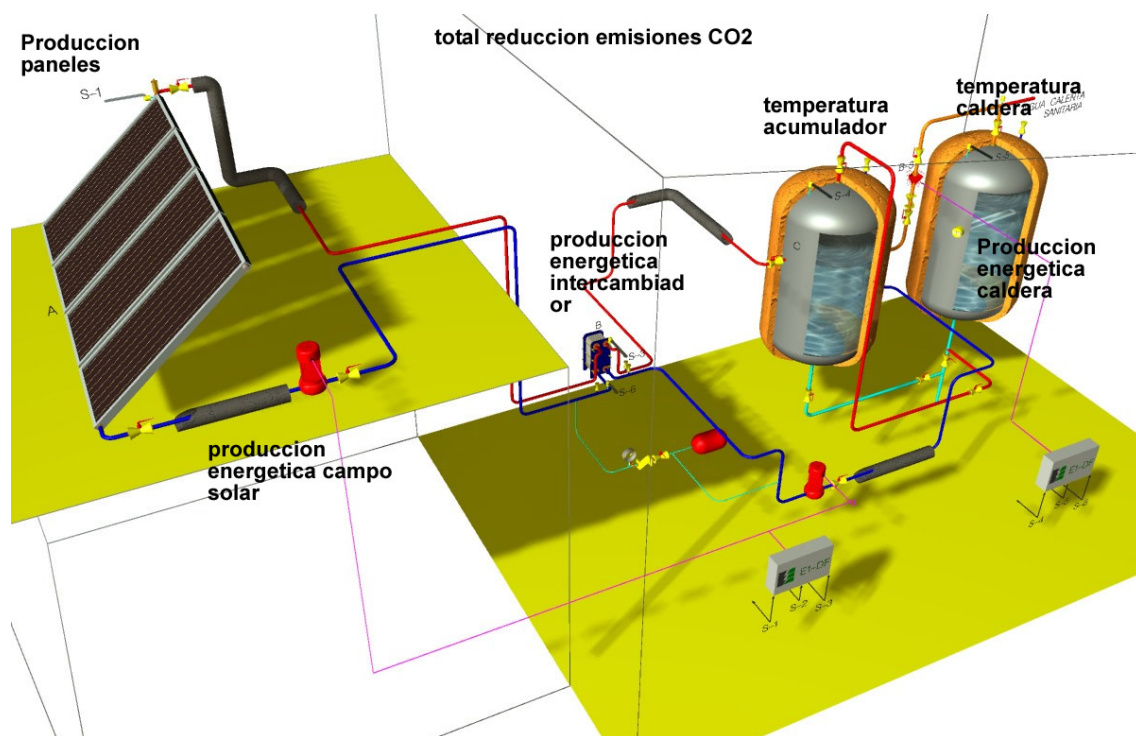
	Fracción solar (f)
Enero	0,725
Febrero	0,719
Marzo	0,708
Abril	0,696
Mayo	0,689
Junio	0,682
Julio	0,675
Agosto	0,682
Septiembre	0,689
Octubre	0,696
Noviembre	0,708
Diciembre	0,725

Tabla 28.- *Fracción solar mensual.*

Si nos fijamos en los valores de la fracción solar mes a mes, observamos como a medida que nos vamos acercando a los meses más calurosos, el valor de ésta va disminuyendo, hecho que en un principio no debería de ser así porque a medida que nos vamos aproximando a los meses de verano la temperatura de consumo irá aumentando y por lógica lo debería de hacer la fracción solar. El motivo por el que f no se incrementa en los meses más calurosos se debe a que las pérdidas en esos meses son mayores que en los que son más fríos, esto se debe a que la radiación solar es mayor en los meses de verano.

Finalmente, hemos tenido que modificar el área de captadores solares que en un principio habíamos considerado en el predimensionamiento. Esto se debe a que tenemos que cumplir con el requisito exigido por el *Código Técnico de la Edificación* de cubrir un 70 % de la demanda de agua caliente sanitaria. Por tanto, el **área final de colectores** solares que deberemos instalar **será de 40 m²**.

6. Diseño de la instalación



6.1.- Esquema general de la instalación.

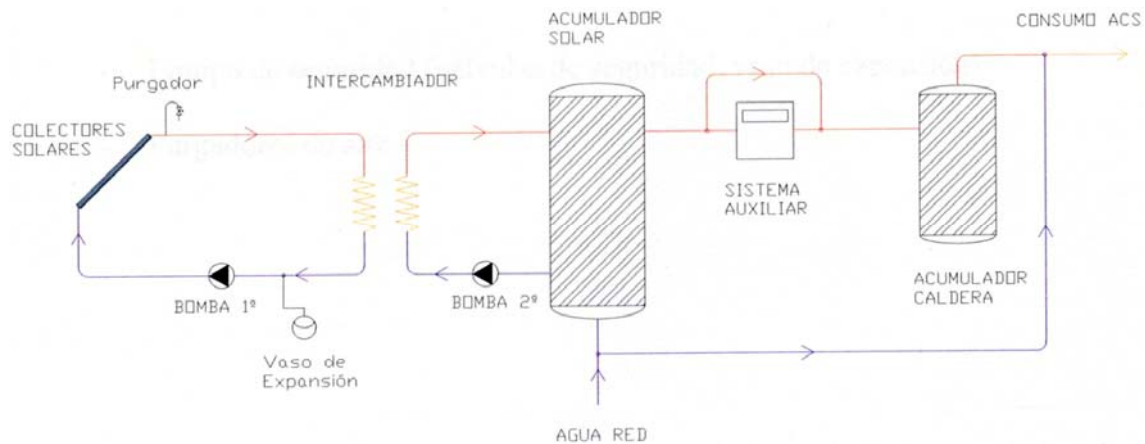


Figura 6.1.- Esquema general de la instalación solar para el suministro de ACS.

Como podemos observar en la figura 6.1, nuestra instalación solar térmica está constituida por tres circuitos.

1) Circuito primario.

Esta formado por los captadores solares y las tuberías que los unen. En este circuito, el fluido de trabajo recoge la energía térmica absorbida por los captadores solares y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambiador de calor. También nos encontramos con una bomba, que es la encargada de producir la circulación forzada del circuito. Además aparecen dos componentes más, el vaso de expansión y el disipador térmico.

2) Circuito secundario.

En éste se recoge la energía captada en el circuito primario a través del intercambiador de calor y se transfiere al sistema de acumulación. La bomba tiene la misma función que para el circuito primario. En este circuito no hace falta la presencia de un vaso de expansión, ya que el tanque de almacenamiento cumple la función de éste.

3) Circuito de consumo.

Parte de la red de alimentación de agua fría y llega a los puntos de consumo.

6.2.- Circuito primario.

Es donde se produce la generación de energía solar térmica. Y sus componentes principales son los siguientes:

- Captadores solares.
- Conducciones.
- Aislamiento térmico de las tuberías.
- Bomba de circulación y válvulas.
- Intercambiador de calor.
- Equipo de seguridad (válvulas de seguridad, vaso de expansión, purgador de aire).

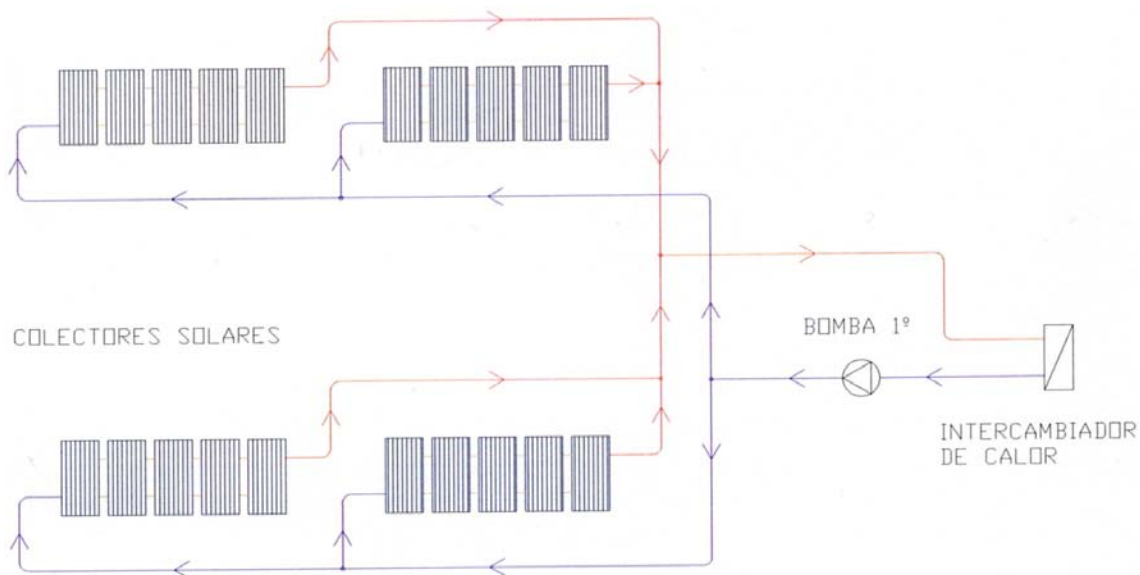


Figura 6.2.- Esquema del circuito primario.

6.2.1.-Captadores solares.

Los colectores solares deben ser respetuosos con el medio ambiente desde el momento de su concepción. Los colectores solares *Saunier Duval* son concebidos y construidos bajo la premisa del mayor ahorro energético y el uso de materiales no contaminantes y totalmente reciclables.

La selección de un captador solar es muy importante ya que del mismo no dependerá sólo la eficiencia global de la instalación sino la durabilidad de la misma. El nuevo captador *HR 2.02 4V* ha sido diseñado y fabricado para satisfacer a los más exigentes tanto en lo referente a eficiencia energética con un factor óptico cercano al 82% como en lo referente a la fortaleza constructiva del captador, con una temperatura de estancamiento de 196°C.

Algunas de las características técnicas del captador solar *HR 2.02 4V* de *Saunier Duval* son:

- Marco de aluminio resistente a ambientes marinos.
- Absorbedor de cobre con tratamiento altamente selectivo *Sunselect*.
- Tubo y absorbedor unidos mediante ultrasonidos.
- Aislamiento mineral resistente a la temperatura de estancamiento.
- Vidrio solar de seguridad.
- Idóneo para aplicaciones de apoyo a calefacción, piscina y ACS.

El captador representa la “fuerza motriz” de la instalación. En su interior se calienta el fluido de trabajo gracias a la energía aportada por la radiación solar, transfiriéndose el calor generado a través del circuito primario que, en la mayoría de los casos, se almacena en un acumulador. Según se vaya necesitando, el calor pasa desde el acumulador al circuito de consumo.

Un colector solar de placa plana está constituido por cuatro elementos principales: cubierta, absorbedor, aislamiento y carcasa.

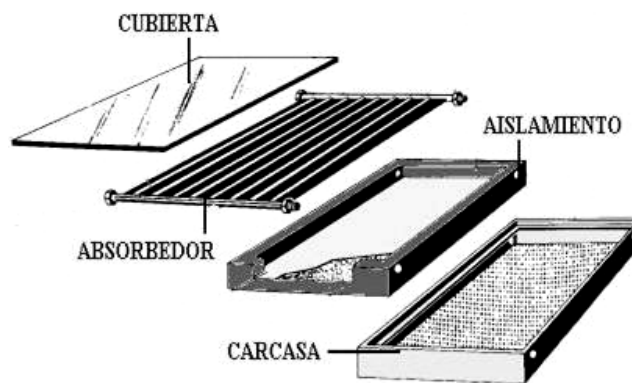


Figura 6.3.- Esquema de un colector solar de placa plana (fuente: apuntes asignatura Nuevas Fuentes de Energía).

❖ *Cubierta transparente:*

Además de provocar el efecto invernadero y reducir las pérdidas por convección, también asegura la estanqueidad del colector al agua y al aire, en unión con la carcasa y las juntas.

Debe poseer un coeficiente de transmisión de la radiación solar alto en la banda de 0,3 a 3 μm y bajo para radiaciones superiores a 3 μm . También debe tener un coeficiente de conductividad térmica bajo, que dificulte el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior. Esto hace que a su vez debamos tener un coeficiente de dilatación pequeño, ya que la cara interior de la cubierta se mantendrá siempre más caliente que la exterior y, por tanto, se dilatará más aumentando el riesgo de rotura o deformación de la cubierta.

Los principales materiales de utilización en las cubiertas son el vidrio y el plástico transparente. En nuestro caso, la cubierta (o vidrio de seguridad) es de “vidrio templado” transparente, que posee una serie de ventajas frente a los de plástico: mejor

conductividad térmica, bajo coeficiente de dilatación, mayor dureza y una estabilidad química bajo la acción de los agentes exteriores. Además, el vidrio templado tiene una mayor resistencia a la rotura, a la flexión y a las contracciones de origen térmico, que en caso de rotura accidental se fragmenta en trozos de pequeñas dimensiones.

Esto es importante ya que la cubierta debe resistir la presión del viento, el peso del hielo y nieve, los choques de granito, etc. También ha de tener un bajo riesgo de rotura espontánea debido al efecto de las contracciones internas, resultantes de las distintas temperaturas de la cubierta.

Cabe la posibilidad de utilizar una cubierta de doble vidrio, la cual aumenta el efecto invernadero reduciendo las pérdidas por convección. Pero en la práctica no suele realizarse, ya que el absorbedor recibiría menos radiación que con sólo un vidrio. Otro inconveniente son los problemas derivados de la elevada temperatura que debería soportar la cubierta inferior, así como las dilataciones diferenciales entre las dos cubiertas por soportar estas temperaturas distintas. Además, que se aumenta considerablemente el coste del colector y, por lo tanto, su periodo de amortización.

❖ *Absorbedor:*

La energía de la radiación solar se convierte en calor en el absorbedor. El fluido de trabajo circula a través de finos tubos, que forman parte del absorbedor y transporta el calor obtenido hacia el acumulador o el consumo.

El factor de eficiencia del captador solar, F_R describe la relación entre la energía útil suministrada por un captador y la energía que podría suministrar si el absorbedor estuviese a la temperatura media del fluido en el captador.

Los tubos del absorbedor no deberían estar demasiado separados, con el fin de que la transferencia de calor desde la lámina metálica del absorbedor hacia el fluido de trabajo se lleve a cabo de forma óptima y uniforme sobre toda el área. En la práctica, se suelen colocar los tubos a una distancia de entre 100 mm y 120 mm, lo que representa un compromiso entre una transferencia de calor óptima, una baja capacidad térmica, un gasto reducido de material y bajos costes de fabricación.

Además, el absorbedor debe estar hecho de un material con buena conductividad térmica, y que no sea demasiado fino. Se suelen utilizar láminas de cobre o aluminio de un espesor de unos 0,2 mm (en un rango de 0,15 mm a 0,3 mm). La conductividad térmica del cobre es mayor que la del aluminio, que a su vez es considerablemente mayor que la del acero o el acero inoxidable. En nuestro caso, el colector *HR 2.02 4V* de Saunier Duval, tiene un absorbedor de cobre con tubos de cobre con tratamiento altamente selectivo *Sunselect™*.

Otro aspecto importante es la buena transferencia de calor entre las láminas metálicas del absorbedor y los tubos por los cuales circula el fluido de trabajo, así como entre la pared de los tubos y el fluido de trabajo. La transferencia de calor entre el tubo y el fluido depende, por un lado, de las propiedades del fluido de trabajo (por ejemplo, la mezcla de glicol con agua posee un calor específico inferior al agua pura) y, por otro lado, de las características del flujo. Cuando la circulación a través del tubo pasa de un

régimen turbulento a uno laminar se produce una caída drástica de la transferencia de calor. Si el caudal es insuficiente, se puede producir una pérdida considerable de eficiencia de un absorbedor diseñado para un caudal elevado.

Además, debe garantizarse una circulación uniforme a través de todo el absorbedor. Si no hay circulación a través de algunas partes del absorbedor, o si ésta es muy reducida, entonces la eficiencia del captador disminuye de manera proporcional al tamaño del área carente de circulación.

La distribución de la circulación en el absorbedor depende de la relación entre la pérdida de carga en los tubos distribuidores y la pérdida de carga en los tubos finos del absorbedor. La pérdida de carga en los tubos distribuidores deber ser como máximo del 20% al 30% de la pérdida de carga en los tubos finos del absorbedor. Si se cumple esta premisa, se podrá garantizar un flujo prácticamente uniforme.

La parte del absorbedor expuesta al sol suele estar recubierta de un revestimiento para absorber bien los rayos solares. Este recubrimiento suele estar realizado por pinturas o superficies selectivas. En nuestro caso, se trata de un nuevo material no contaminante libre de cromo negro, de alto rendimiento y alta resistencia a elevadas temperaturas. La eficiencia del revestimiento viene dado por sus valores de emisividad y absortancia (ver anexo IV).

Las superficies selectivas tienen un coeficiente de absorción del orden del de las pinturas 0,8 – 0,9, pero su coeficiente de emisión es considerablemente menor, del orden de 0,1 frente a los 0,8 – 0,9 de las pinturas. Además tienen en general un mejor comportamiento y mayor durabilidad, el único inconveniente suele ser su elevado coste.

Otras características importantes del absorbedor son:

- La pérdida de carga, en sistemas por termosifón.
- La corrosión interna. Para evitarla no hay que juntar en el circuito los materiales hierro y cobre. Además hay que observar que aunque el fluido caloportador inicialmente no sea corrosivo, puede degradarse debido a la temperatura, de modo que al aumentar ésta lo convierta en corrosivo
- La inercia térmica. En zonas en que se produce una frecuente alternancia climática, una fuerte inercia térmica del absorbedor no permitiría que el fluido alcanzase la temperatura que se logra en los períodos de radiación continuada.
- La homogeneidad de la circulación del fluido caloportador. Si no hay una correcta circulación del fluido, el calor aportado a estas zonas estará mal distribuido, la temperatura se elevará anormalmente y las pérdidas térmicas serán mayores.
- La transmisión del calor de la placa absorbente al fluido caloportador. Ésta depende en gran medida de la conductividad y del espesor del metal del que está fabricada la placa absorbente, de la separación entre los tubos, de sus diámetros, de las propiedades térmicas y régimen del fluido, y de las soldaduras entre la placa y los tubos.
- Las pérdidas de carga a la entrada y salida del absorbedor.

- Los puentes térmicos entre el absorbedor y los elementos no aislados del colector.
- La resistencia a la presión, bien por conexión directa del absorbedor con la red o debida a la obstrucción del circuito primario en un sistema de circulación forzada.

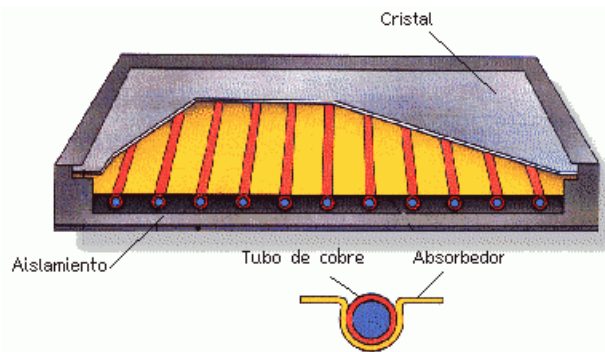


Figura 6.4.- Corte transversal de un captador solar de placa plana (fuente: EurObservER).

❖ Aislamiento:

El aislamiento térmico es esencial para los captadores planos porque por medio de él se logra una reducción de las pérdidas térmicas. Por lo general, la pared posterior y los laterales de la carcasa están aislados térmicamente. Además de lana de vidrio y lana mineral, se suelen emplear resina de melamina y espumas de poliuretano (PUR). En casos esporádicos, fabricantes de menor entidad ofrecen captadores con lana de oveja, lino u otro tipo de aislamiento natural.

Los materiales aislantes deben resistir las altas temperaturas de estancamiento de los captadores. Particularmente, el aislamiento de la parte posterior no debería emitir gases, incluso a temperaturas muy elevadas, pues de lo contrario es previsible la aparición de deposiciones en el interior de la cubierta transparente.

El aislante térmico debe poseer las siguientes características:

- Buen comportamiento con la temperatura, en algunos casos se coloca entre el absorbedor y el aislante una lámina metálica reflectante que impide al aislamiento recibir la radiación directa del absorbedor.
- Bajo desprendimiento de vapores por efecto de un elevado calentamiento.
- Larga durabilidad.
- Homogeneidad de sus propiedades frente a la humedad.

El colector solar escogido para nuestra instalación solar tiene un aislamiento para la parte posterior de 40 mm de lana de roca para aplicación solar; y aislamientos laterales sin puentes térmicos.

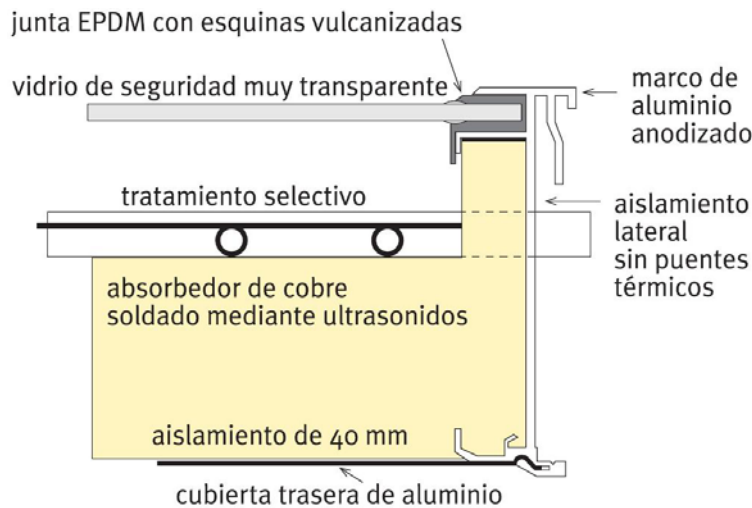


Figura 6.5.- Sección transversal del colector solar HR 2.02 4V (fuente: Saunier Duval).

❖ Carcasa:

La misión de la carcasa es envolver al absorbedor y al aislante térmico del captador, protegiéndolos de este modo de la humedad y los daños mecánicos.

Las características que debe cumplir la carcasa son:

- Alta rigidez.
- Resistencia de los elementos de fijación.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.
- Resistencia a la corrosión y la inestabilidad química.
- Aireación del interior de los colectores.
- Retención del agua, hielo y nieve en el exterior del colector.
- Fácil desmontaje de la cubierta transparente o de la parte superior de la carcasa para acceder al absorbedor.

Orientación, Inclinación e Integración Arquitectónica.

Tal y como se indica en el ITE 10.1.3.1 “Disposición de los colectores”, éstos deben estar orientados hacia el sur geográfico, pudiéndose admitir desviaciones no mayores de 25° con respecto a dicha orientación. Los tejados de las viviendas se encuentran en dirección Norte – Sur, por lo tanto se aprovechará la cubierta que se encuentra mirando al sur para colocar los colectores.

El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal se determina en función de la latitud geográfica, β y del periodo de utilización de la instalación, de acuerdo con los siguientes valores:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica +10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica -10°.

En nuestro caso, existe un consumo constante anual, por lo que la inclinación de los colectores debería ser igual a la latitud geográfica ($28,5^\circ$), si quisiéramos un rendimiento óptimo.

El problema es, que los colectores solares serán colocados en las cubiertas inclinadas de las viviendas unifamiliares, adoptando la inclinación de éstas (30°). Pero, mientras el ángulo de inclinación esté comprendido entre 20° y 50° , la disminución del aporte solar anual será casi siempre inferior al 5% con respecto al óptimo, suponiendo que la cubierta esté orientada hacia el ecuador. Además, al tratarse únicamente de un sistema de ACS, la inclinación necesaria no será tan grande como en los sistemas de apoyo a la calefacción.

Se considera que existe “integración arquitectónica” cuando los captadores cumplen una doble función: energética y arquitectónica. Existirá superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

Ubicación y conexionado de los colectores.

Al haber cuatro bloques de viviendas con una cubierta común en cada uno, repartiremos el total de colectores a instalar en dos partes iguales. En el dimensionado de la instalación se obtuvo una superficie total a instalar de 40 m^2 , que corresponde a 20 colectores. Por lo tanto, se colocarán 10 colectores en dos de las cuatro cubiertas de los bloques de viviendas, dispuestos en dos grupos de 5 colectores cada uno.

La decisión de dividir los 10 colectores disponibles en cada cubierta en 2 grupos de 5 colectores, es debido a la intención de utilizar una alternativa al *retorno invertido*, que se explica a continuación:

Con el “retorno invertido” es posible alcanzar un flujo uniforme, pero supone un aumento en el coste de la instalación, ya que se utilizan tramos de tuberías relativamente largos. Por ello, se ha optado por conectar los colectores entre sí en paralelo, sin que se necesiten tuberías de distribución externas como en el caso del retorno invertido y, de este modo, se logra reducir los costes totales relativos a la tubería. Esto es posible en nuestro caso, ya que los colectores solares *HR 2.02 4V* utilizados en este proyecto, disponen de tubería de distribución incorporada.

No obstante, este conexionado sólo es apropiado para un número limitado de aproximadamente 5 captadores, formando de esta manera una denominada “batería de colectores”. Es por ello, por lo que se decide dividir los 10 colectores de cada bloque de viviendas, en dos baterías de colectores. Ambas baterías se conectarán entre sí, como puede verse en la figura 6.6.

Como en el caso del conexionado con retorno invertido, se intenta alcanzar un flujo uniforme a través de cada captador. Por lo tanto, se han de cumplir los mismos requisitos a fin de lograr el flujo uniforme, es decir, la pérdida de carga de cada tubo fino del absorbedor conectado en paralelo, ha de ser por lo menos 3 veces mayor que la

pérdida de carga de la tubería entera de distribución interna, y las resistencias secundarias deben ser pequeñas.

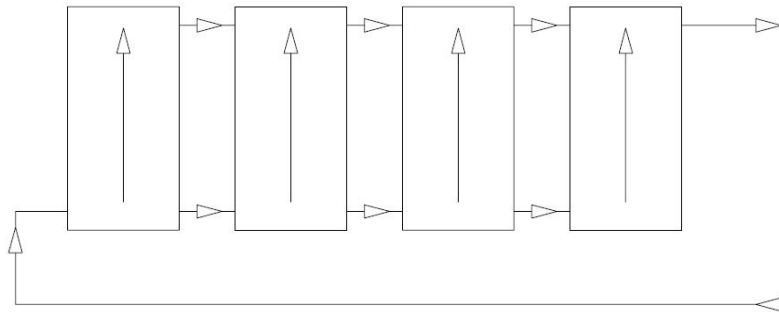


Figura 6.6.- Conexión de los colectores en paralelo (fuente: CTE).

Para el conexionado de los colectores, se seguirán las normas impuestas por el ITE 10.1.3.1 “Disposición de los colectores”. Los colectores, al disponer de 4 manguitos de conexión, se conectarán directamente entre sí. La entrada del fluido caloportador se efectuará por el extremo inferior del primer colector de la fila y la salida por el extremo superior del último, como puede verse en la figura 6.6.

En el conexionado de los captadores se pretende alcanzar un flujo uniforme a través de cada uno de ellos. De esta manera, cada captador podría operar con el mayor rendimiento, evitando que se formen zonas con un flujo muy débil o deficiente y, por o tanto, no refrigeradas, es decir, áreas inútiles.

En el caso de conexionado en paralelo, se ha de alcanzar un caudal idéntico en cada uno de los captadores. Además, hay que observar las indicaciones sobre el caudal mínimo del captador recomendado por el fabricante ($40 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$) para evitar las zonas sin circulación y asegurar un flujo en régimen turbulento.

En este conexionado, la pérdida de carga del campo de captadores es bastante pequeña, puesto que la pérdida de carga de los colectores individuales y la pérdida de carga de las tuberías de conexión correspondientes no se suman. Por otro lado, se observa un caudal total relativamente alto ya que, el caudal total de diseño de cada grupo de 5 colectores, será igual al producto del caudal específico del campo solar y la superficie total de captadores, que en nuestro caso será de:

$$\text{Caudal total} = 40 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2 \cdot 10,1 \text{ m}^2 = 404 \text{ L/h} \text{ (5 colectores)}$$

6.2.2.- Conducciones del circuito primario.

El material que se va a utilizar en las conducciones es el cobre, ya que es el más común en este tipo de instalaciones. Se trata de un material muy fácil de soldar, debido a que el cobre posee pequeñas cantidades de fósforo residual que facilitan la soldadura. Esto permite una mano de obra más barata ya que no necesita estar tan especializada como en el caso de la soldadura de las tuberías de acero negro. Además goza de magníficas propiedades, como son resistencia a la corrosión, maleabilidad y ductilidad.

El cobre resiste la corrosión, tanto de los líquidos que circulan por su interior como la debida a los agentes externos, aire, humedad u otros elementos que entren en contacto con él. Este material al contacto con el agua se oxida formando una fina capa que lo protege. Además, reacciona mejor con los bicarbonatos solubles, formándose menos carbonatos y por tanto menos incrustaciones.

La pérdida de carga es menor que la de otros materiales como el hierro a igualdad de diámetro de tubería. Las canalizaciones se realizarán con tubería de espesor no inferior a 1 mm.

Cálculo del caudal y el diámetro de las tuberías.

El fabricante de los colectores solares nos proporciona el valor del caudal recomendado que circula por los captadores, que según éste es de 40 L/h por m² de colector. Como ya sabemos, se dispone de 2 baterías de 5 colectores cada una, por lo tanto el caudal que circula por cada batería de colectores, es:

$$Q_1 = 40 L/h \cdot m^2 \cdot 10,1 m^2 = 404 L/h = 0,404 m^3/h$$

También conocemos el valor del diámetro de las conexiones donde irán ubicadas las tuberías que llegan y salen de los colectores; que nos proporciona el fabricante en la tabla de especificaciones técnicas de los captadores solares (ver anexo IV).

Las conexiones tienen un diámetro de 22 mm y poseen un mecanismo de apriete que sujeta las tuberías que hay en su interior. Por ello, el diámetro exterior de la tubería a utilizar, tanto a la entrada como a la salida de los colectores, nunca podrá ser mayor que 22 mm.

Si nos fijamos en la *Tabla 29*, observamos que para un diámetro exterior de, $\varnothing_e = 22$ mm, y tomando un espesor de, $e = 1$ mm, tenemos un diámetro interior de tubería de, $\varnothing_i = 20$ mm.

Sabemos que la velocidad del fluido de trabajo que circula por el circuito primario, debe estar comprendido entre 0,6 y 1,5 m/s.

$$Q_1 = v \cdot A$$

$$v = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{\pi \cdot \frac{\phi_i^2}{4}} = \frac{0,404 \cdot \frac{1}{3.600}}{\pi \cdot \frac{(20 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 0,357 m/s$$

Vemos que no se cumple la condición, por lo tanto deberemos optar por un diámetro de tubería algo menor. Una opción es aumentar el espesor de la tubería inicial a, $e = 1,5$ mm, pero al igual que antes, para un $\varnothing_i = 19$ mm sigue habiendo una velocidad del fluido insuficiente, $v = 0,396$ m/s. Como vemos que aumentando el espesor, la velocidad queda bastante alejada de los valores deseados, disminuirémos el diámetro exterior de la tubería. Para un $\varnothing_e = 18$ mm con un $e = 1$ mm, tenemos un $\varnothing_i = 16$ mm y una velocidad en la tubería de $v = 0,558$ m/s.

Optamos entonces por un $\varnothing_e = 15$ mm con un $e = 1$ mm, por lo que con un $\varnothing_i = 13$ mm, ya sí que se produce una velocidad del fluido apropiada, como podemos ver a continuación:

$$v = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{\pi \cdot \frac{\phi_i^2}{4}} = \frac{0,404 \cdot \frac{1}{3.600}}{\pi \cdot \frac{(13 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 0,845 \text{ m/s}$$

Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso lineal (kg/m)	Superficie pared exterior (cm ² /m)	Sección interior (mm ²)	Capacidad (l/m)	Resistencia (recocido)	
							Util (kp/cm ²)	Rotura (kp/cm ²)
6	0.75	4.5	0.110	188	16	0.016	147	733
	1	4	0.140		13	0.013	220	1100
8	0.75	6.5	0.152	251	33	0.033	102	510
	1	6	0.196		28	0.028	147	733
10	0.75	8.5	0.194	314	57	0.057	78	388
	1	8	0.252		50	0.050	110	550
12	0.75	10.5	0.236	377	87	0.087	63	314
	1	10	0.308		78	0.078	88	440
15	0.75	13.5	0.299	471	143	0.143	49	244
	1	13	0.391		133	0.133	68	338
18	0.75	16.5	0.362	565	214	0.214	40	199
	1	16	0.475		201	0.201	55	275
22	1	20	0.587	691	314	0.314	44	220
	1.2	19.6	0.698		302	0.302	54	269
	1.5	19	0.860		284	0.284	69	347
28	1	26	0.753	880	531	0.531	34	169
	1.2	25.6	0.899		515	0.515	41	206
	1.5	25	1.111		491	0.491	53	264
35	1	33	0.951	1100	855	0.855	27	133
	1.2	32.6	1.134		835	0.835	32	162
	1.5	32	1.405		804	0.804	41	206

Tabla 29.- Características de los tubos de cobre comprendidos en la norma UNE 37.141-76.

La velocidad que hemos obtenido para los colectores, se va a considerar constante a lo largo de todo el circuito primario, por lo que en aquellas zonas en las que varíe el caudal también lo hará el diámetro de la tubería.

En la figura 6.7, se muestra la relación de los caudales que deben circular por cada tramo. Como se puede ver en el esquema, cuando se juntan dos ramales de tuberías en un punto, el caudal de la tubería resultante es la suma de los caudales de ambos ramales. Lógicamente, al aumentar el caudal y mantenerse la velocidad del fluido constante, el área de dicha tubería debe incrementarse proporcionalmente.

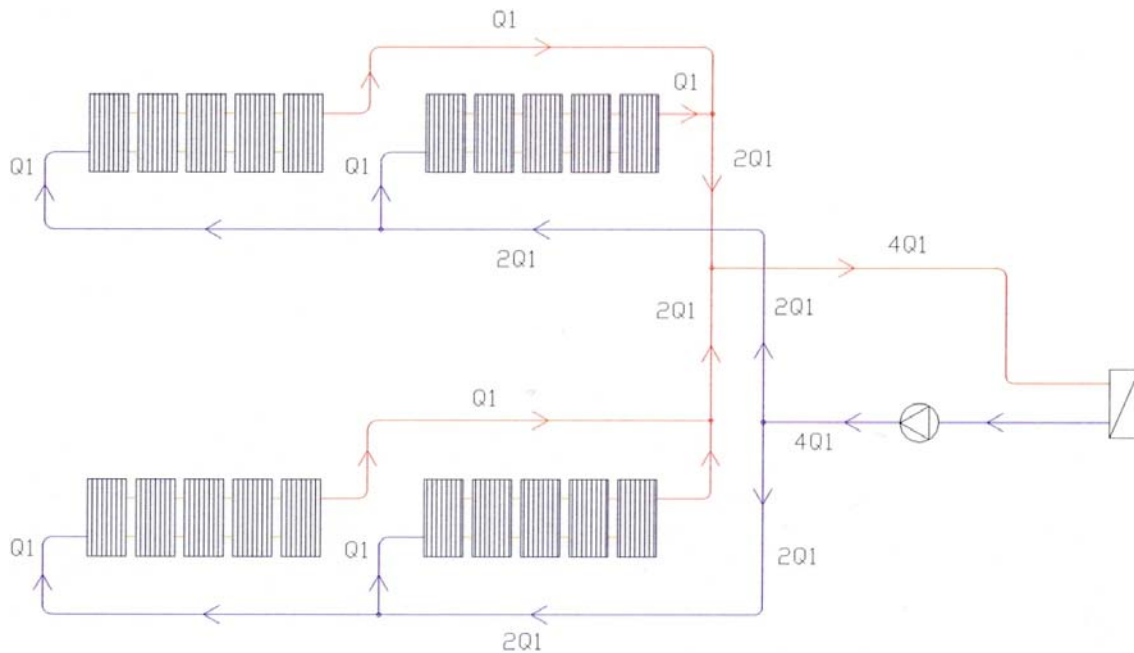


Figura 6.7.- Caudal que circula por el circuito primario.

Los diámetros interiores reflejados en la *Tabla 30*, son los valores que deberán tener las tuberías para poder asegurar ese caudal a esa velocidad. Pero lógicamente, tuberías de ese tamaño no se fabrican, por lo que habrá que acudir a la *Tabla 29* para escoger los diámetros más cercanos, y así no variar mucho la velocidad del fluido en cada tramo.

	Caudal (m^3/h)	Velocidad (m/s)	Área (mm^2)	\varnothing_i (mm)
Q_1	0,404	0,845	132,807	13
$2Q_1$	0,808	0,845	265,615	18,390
$4Q_2$	1,616	0,845	531,230	26

Tabla 30.- Caudales y diámetros interiores para $v = 0,845$ m/s.

A continuación, se muestran los diámetros escogidos y la velocidad que alcanzará el fluido en cada tramo.

	Caudal (m^3/h)	Velocidad (m/s)	Área (mm^2)	\varnothing_i (mm)
Q_1	0,404	0,845	132,807	13
$2Q_1$	0,808	0,792	283,529	19
$4Q_2$	1,616	0,845	531,230	26

Tabla 31.- Diámetros normalizados de las tuberías y velocidad real del fluido.

Cálculo de las pérdidas por rozamiento en las tuberías.

A continuación se muestran los tramos en que vamos a dividir el circuito primario para poder calcular las pérdidas por rozamiento.

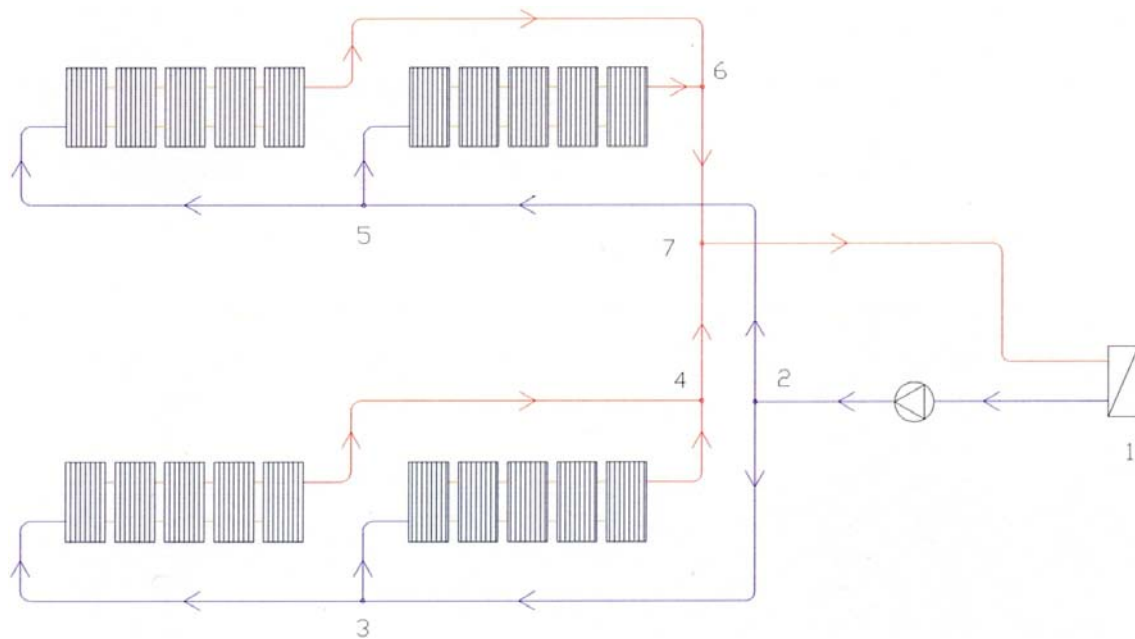


Figura 6.8.- Tramos del circuito primario.

- *Tramo 1 - 2:* circula un caudal $4Q_1$, es decir $1,616 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 26 mm y una longitud de 0,66 m.
- *Tramo 2 - 3:* circula un caudal $2Q_1$, es decir $0,808 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 19 mm y una longitud de 43,7 m.
- *Tramo 2 - 5:* circula un caudal $2Q_1$, es decir $0,808 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 19 mm y una longitud de 27,82 m.
- *Tramo 3 - 4:* circula un caudal Q_1 , es decir $0,404 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 16 mm y una longitud de 17 m.
- *Tramo 4 - 7:* circula un caudal $2Q_1$, es decir $0,808 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 19 mm y una longitud de 51,62 m.
- *Tramo 5 - 6:* circula un caudal Q_1 , es decir $0,404 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 16 mm y una longitud de 17 m.
- *Tramo 6 - 7:* circula un caudal $2Q_1$, es decir $0,808 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 19 mm y una longitud de 32,71 m.
- *Tramo 7 - 1:* circula un caudal $4Q_1$, es decir $1,616 \text{ m}^3/\text{h}$. Tiene un diámetro interior de 26 mm y una longitud de 0,53 m.

Conocido el caudal que circula por el circuito primario y el diámetro interior de las tuberías, podemos determinar las pérdidas de carga que se producen en cada tramo mediante la siguiente gráfica.

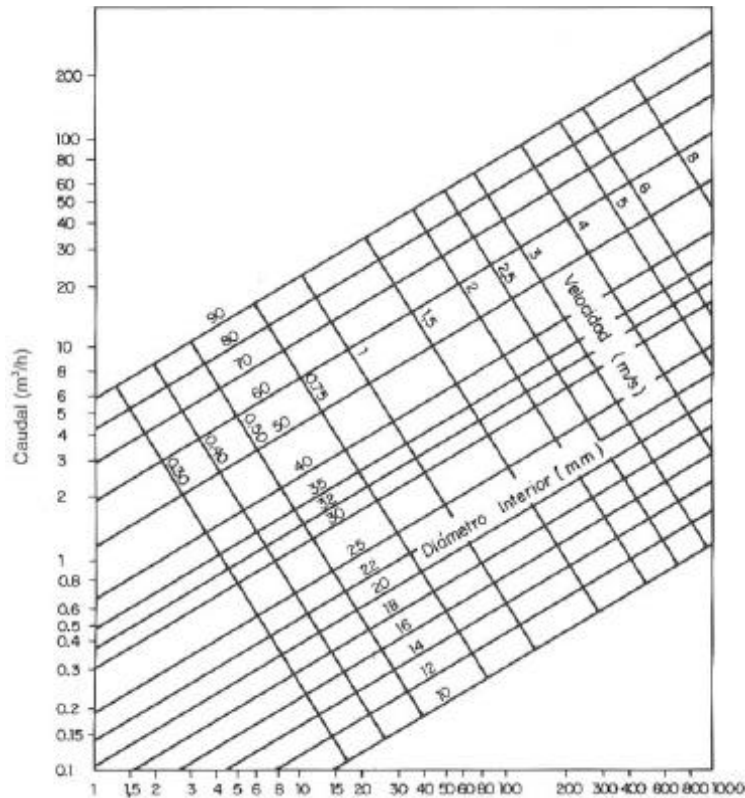


Figura 6.9.- Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre (fuente: apuntes de la asignatura de Fluidomecánica).

Los resultados obtenidos quedan reflejados en la siguiente tabla:

	Caudal (m ³ /h)	\varnothing_i (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas por rozamiento (mm c.a. por m)	Longitud (m)	Pérdidas por rozamiento (mm c.a.)
Tramo 1 - 2	1,616	26	0,845	40	0,66	26,4
Tramo 2 - 3	0,808	19	0,792	50	43,7	2.185
Tramo 2 - 5	0,808	19	0,792	50	27,82	1.391
Tramo 3 - 4	0,404	13	0,845	70	17	1.190
Tramo 4 - 7	0,808	19	0,792	50	51,62	2.581
Tramo 5 - 6	0,404	13	0,845	70	17	1.190
Tramo 6 - 7	0,808	19	0,792	50	32,71	1.635,5
Tramo 7 - 1	1,616	26	0,845	40	0,53	21,2
TOTAL						10.220,1

Tabla 32.- Pérdidas por rozamiento en las conducciones del circuito primario.

Sin embargo, en estos cálculos no se han tenido en cuenta las pérdidas de carga en accesorios como codos o válvulas, por lo que habrá que incrementar entorno a un 10% - 20% las pérdidas obtenidas.

Tendremos por tanto una pérdida de carga por rozamiento de **11.753,11 mm c.a.**

Aislamiento de las conducciones.

Las conducciones del circuito primario dispondrán de aislamiento térmico, ya que con él, se pretende cumplir dos objetivos principales:

- Reducir las pérdidas de calor en los fluidos calientes o las ganancias en los fríos, evitando en este último caso las condensaciones superficiales.
- Razones de seguridad, limitando las temperaturas superficiales a un valor máximo, o previniendo la formación de hielo.

Así pues, siguiendo las indicaciones del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*, deberemos colocar un aislamiento de determinado espesor para cada tramo de tubería. Como sabemos, tenemos tramos con diferentes caudales (Q_1 , $2 Q_1$ y $4 Q_1$) y con diferentes diámetros interiores (13, 19 y 26 mm).

Para conducciones y accesorios situados en el interior, tenemos los siguientes espesores mínimos de aislamiento en función del diámetro exterior de la tubería y la temperatura del fluido.

Fluido interior caliente				
Diámetro exterior (1) (mm)	Temperatura máxima del fluido (2) (°C)			
	40° a 65°	66° a 100°	101° a 150°	151° a 200°
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50
$140 < D$	30	40	50	60

(1) Diámetro exterior de la tubería sin aislar.

(2) Se escoge la temperatura máxima de la red.

Tabla 33.- *Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.*

Escogeremos, por tanto, un espesor de 20 mm para todas las conducciones interiores.

Para tuberías y accesorios situados en el exterior, los valores de la *Tabla 33* se incrementarán en 10 mm como mínimo, según nos indica el *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. Por tanto, para las conducciones en el exterior tomaremos un aislamiento de 30 mm de espesor.

Pero hay que indicar que estos cálculos están realizados para materiales con una conductividad térmica a 20°C de $\lambda_{ref} = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Si quisiéramos utilizar un material

para el aislamiento con una conductividad térmica diferente, tendríamos que aplicar la siguiente expresión:

$$\frac{\ln \frac{D_i + 2 \cdot e}{D_i}}{\lambda} = \frac{\ln \frac{D_i + 2 \cdot e_{ref}}{D_i}}{\lambda_{ref}}$$

de la cual se deduce:

$$e = \frac{D_i}{2} \cdot \left[\exp\left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot \ln \frac{D_i + 2 \cdot e_{ref}}{D_i}\right) - 1 \right]$$

donde:

e_{ref} : espesor mínimo de referencia.

λ_{ref} : conductividad térmica de referencia, $\lambda_{ref} = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

En nuestro caso, vamos a utilizar un aislamiento térmico SH / Armaflex, que cumple perfectamente con los requisitos exigidos en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) Apéndice 03.1*.

El fabricante nos proporciona los valores de los espesores a utilizar en función del diámetro de tubería, por lo que no hará falta realizar los cálculos. Nos recomienda utilizar un espesor de 19 mm para las conducciones interiores y de 27 mm para las exteriores (ver anexo IV).

Utilizaremos las coquillas de espuma elastomérica a base de caucho sintético ya que son apropiadas para temperaturas de empleo comprendidas entre +10°C y + 105°C.

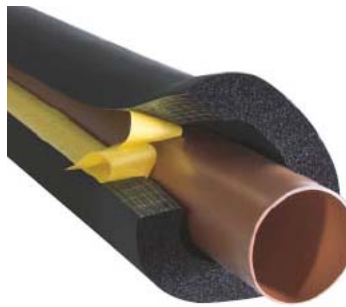


Figura 6.10.- Coquilla SH/Armaflex.

6.2.3.- Bomba de circulación.

Para la elección de la bomba es necesario conocer los siguientes datos:

- Caudal que va a circular por las conducciones.
- Pérdidas de carga de la instalación.

El caudal se ha calculado siguiendo las recomendaciones del fabricante y se ha obtenido un valor de 1.616 L/h (tenemos que instalar un total de 40 m² de captadores solares y el fabricante recomienda un caudal de 40 L/h por m² de superficie colectora).

Una vez hallado el caudal necesario, hay que determinar las pérdidas de carga que dicho caudal provoca en la instalación:

- Pérdidas de carga en los colectores: 0,9 m c.a. (0,225 m c.a. por cada batería de 5 colectores, ver anexo IV).
- Pérdidas de carga en las tuberías: 10,220 m c.a.
- Pérdidas de carga del intercambiador de calor: 0,577 m c.a.
- Pérdidas de carga individuales de las piezas de empalme: 1,5 m c.a. (tomando como valor aproximado entre un 10% y un 20% de las pérdidas en la instalación).

Tendremos por tanto unas pérdidas totales por rozamiento de aproximadamente 13,197 m c.a. (1,320 bar).

El electrocirculador que elijamos deberá de ser capaz de suministrar esta caída de presión para un caudal de 1,6 m³/h.

Bajo cualquier condición de funcionamiento, hay que asegurarse de que la presión en el punto más alto de la instalación sea superior a la atmosférica para evitar la entrada de aire en el circuito. Además, la presión debe ser lo suficientemente elevada a fin de evitar la evaporización, al trabajar a temperaturas elevadas. Tomaremos como presión en el punto superior de la instalación 1,5 bar.

Por tanto, tenemos que la caída de presión total que debe vencer la bomba es:

$$\Delta P = P_{\text{sup}} + \Delta P_{\text{rozamiento}} = 1,5 + 1,320 = 2,82 \text{ bar}$$

Con el paso del tiempo, las tuberías van cogiendo corrosión, por lo que la pérdida de carga aumenta con el tiempo, además los cálculos se realizan como si en la instalación sólo hubiese agua, mientras que muchas veces se añade anticongelante, por esta razón en la práctica la bomba que se elige debe estar un poco sobredimensionada.

Las bombas suelen tener varias velocidades y el fabricante lo indica en sus gráficas, lo aconsejable es que se trabaje en una velocidad intermedia para así poder subir o bajar la velocidad si no hemos quedado cortos o hemos sobredimensionado la bomba respectivamente.

Para calcular la potencia aproximada de la bomba necesaria hacemos uso de la siguiente expresión:

$$P = C \cdot \Delta P$$

donde:

P : potencia eléctrica.

C : caudal.

ΔP : pérdida de carga de la instalación.

Por tanto, la potencia teórica para la electrobomba será de:

$$P = 1,6 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3.600s} \cdot 2,82bar \cdot \frac{101.325Pa}{1bar} = 126,99 \approx 127W$$

Si consideramos que el rendimiento del electrocirculador será del 25 %, tendremos una potencia nominal de:

$$P_N = \frac{P}{0,25} = 508W$$

Conociendo todos estos datos, se ha decidido escoger una bomba circuladora sencilla GRUNDFOS gama MAGNA modelo 50 – 120 F. Para conocer los datos técnicos de la bomba véase el anexo IV.



Figura 6.11.- Bomba de circulación GRUNDFOS, MAGNA 50-120 F.

Entre las tomas de aspiración e impulsión del electrocirculador se colocará un manómetro con dos válvulas de cierre (manómetro en *by-pass*) con el fin de poder medir la pérdida de carga del circuito y, con la ayuda de la curva característica facilitada por el fabricante, podemos obtener de forma aproximada el caudal circulante por el circuito.

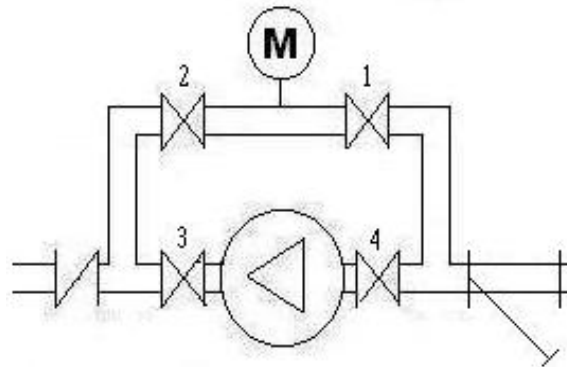


Figura 6.12.- Esquema de las diferentes válvulas del electrocirculador (fuente: Grundfos).

Cerrando la llave 1 y dejando abierta la llave 2, obtenemos en el manómetro la presión de impulsión. Cerrando la llave 2 y abriendo la llave 1, obtenemos en el manómetro la presión de aspiración. Si restamos los resultados se obtiene la pérdida de carga de la instalación, que debe coincidir con la de la instalación.

El circuito va precedido de un filtro para evitar que entren impurezas de las soldaduras y del resto de la instalación en la bomba. También lleva una válvula

antirretorno para evitar retrocesos del fluido caloportador desde el colector a la bomba. Las llaves numeradas con el 3 y 4 se utilizan en caso de avería de la bomba para ser sustituida.

En la parte trasera el electrocirculador debe tener una pequeña presión para que sea capaz de arrancar, la normativa indica que como mínimo deber ser de 0,2 bar ó 0,5 bar para temperaturas altas.

Si la bomba tuviese una pérdida de carga más pequeña que la necesaria, se creará una depresión en las tuberías y el agua que circula se volverá fácilmente gaseosa, como la bomba está diseñada para mover sólo fluido líquido se produce una aceleración de la bomba y una implosión en el fluido, que acaba estropeando al electrocirculador. La suma de ambas reacciones se conoce como gravitación.

6.2.4.- Vaso de expansión.

Un vaso de expansión o depósito de expansión es un elemento utilizado en circuitos de calefacción de edificios para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido caloportador que contiene el circuito. También se utilizan en otras instalaciones en las que se producen cambios de temperatura, y por lo tanto de volumen, de algún fluido (generalmente agua).

Este hecho provoca un aumento de la presión en el circuito. Los sistemas de expansión son los encargados de compensar este aumento de volumen del agua para que la presión del circuito no sobrepase la presión nominal de sus componentes.

Existen varios tipos de sistemas de expansión:

- *Vasos de expansión cerrados:* consiste en un recipiente o depósito de agua conectado a la tubería que alberga en su interior una membrana elastómera formando una cámara de aire. Al aumentar la presión, el agua comprime este aire y aumenta el volumen de agua en el vaso aliviando así el exceso de volumen en el circuito.
- *Vasos de expansión abiertos:* consiste en un recipiente que está abierto por la parte superior y permite el trasiego de fluido fuera del sistema. En el caso de expansión el agua se elimina a través de un desagüe y en caso de contracción se llena el circuito con una acometida conectada a una válvula con boya que abre cuando baja el nivel del vaso.
- *Sistemas de expansión con transferencia de masa:* con estos sistemas se recurre a un trasiego del fluido desde el circuito hasta un depósito de almacenamiento exterior y viceversa.

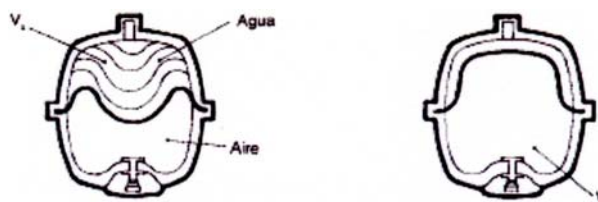


Figura 6.13.- Funcionamiento de un vaso de expansión cerrado en caliente (izquierda) y en frío (derecha)

En las instalaciones solares normales se utilizan vasos de expansión cerrados, por lo que el fluido del circuito no se encuentra en comunicación directa con la atmósfera. En estas instalaciones se pueden alcanzar valores de temperatura muy elevados (mayor de 150°C en los captadores solares) por lo que, además de instalarse en la parte más fría del circuito primario, se han de emplear vasos con membranas elásticas que trabajen adecuadamente frente al mayor valor de la temperatura que se pueda alcanzar en el vaso y en caso de emplear fluidos anticongelantes utilizar membranas especiales. Se recomienda instalar el vaso de expansión de forma que el fluido de la instalación esté en la parte superior y el gas en la inferior, consiguiéndose de esta forma disminuir la temperatura del fluido líquido en contacto con la membrana elástica debido a la estratificación de temperaturas que presenta este líquido; por tanto con esta medida la membrana está en contacto con el líquido más frío. Por este motivo se recomienda que la tubería de conexión entre el circuito y el vaso no se aisle térmicamente.

Cálculo del vaso de expansión cerrado.

En primer lugar, se calculará el volumen total del fluido de trabajo en el circuito primario de la instalación V_t , el cual se compone de la suma total de los contenidos de los colectores solares, de las tuberías, del intercambiador de calor y de la bomba.

El volumen de fluido contenido en los captadores solares será:

$$V_{\text{colectores}} = 20 \cdot 1,36L = 27,2L$$

El volumen contenido en la bomba nos lo facilita el fabricante: $V_{\text{bomba}} = 43L$.

Para calcular el volumen contenido en las conducciones correspondientes al circuito primario, tenemos que tener en cuenta que, en la instalación, hay diferentes tramos con distintos diámetros y longitudes.

	\varnothing_i (mm)	Longitud (m)	Volumen conducciones (L)
Tramo 1 - 2	26	0,13	0,35
Tramo 2 - 3	19	13,73	12,39
Tramo 2 - 5	19	22,37	7,89
Tramo 3 - 4	13	3,42	2,26
Tramo 4 - 7	19	16,22	14,64
Tramo 5 - 6	13	3,42	2,26
Tramo 6 - 7	19	10,28	9,27
Tramo 7 - 1	26	0,43	0,28
		TOTAL	49,33

Tabla 34.- Volumen contenido en las conducciones del circuito primario.

Y, finalmente, el volumen de fluido que circula por el intercambiador de calor es de:

$$V_{\text{intercambiadorcalor}} = 8L$$

Por tanto, el volumen total de fluido de trabajo que hay en el circuito primario es de:

$$V_t = V_{colectores} + V_{bomba} + V_{conducciones} + V_{ic} = 124,53L$$

Al calentarse el circuito primario el fluido de trabajo se expande. La diferencia entre el volumen líquido en estado caliente y frío del fluido de trabajo se denomina volumen de dilatación. Los fabricantes de mezclas anticongelantes suministran tablas y detalles sobre el coeficiente de dilatación n , en función del porcentaje de la mezcla y de la temperatura. El volumen de dilatación se calcula como:

$$V_d = V_t \cdot n$$

El coeficiente de dilatación se determina en función de las temperaturas que pueden presentarse en el circuito primario. Como valor medio establecido en todo el circuito primario, es razonable la suposición de una diferencia de temperaturas máxima de 67 K entre el estado frío, por ejemplo 24°C, y la operación cerca de la temperatura de trabajo máxima, igual a 91°C.

Aunque el coeficiente de dilatación no varía proporcionalmente con la temperatura, es suficiente asumir un comportamiento lineal en este rango de temperaturas. A continuación se indica el coeficiente de dilatación linealizado para el agua pura basado en valores de un fabricante.

$$n_{lin,agua} = 0,00018K^{-1}$$

En caso de una diferencia de temperaturas esperada de 67 K, el coeficiente de dilatación para el agua pura asciende a:

$$n = 67K \cdot 0,00018K^{-1} = 0,0121$$

El volumen de dilatación para agua pura será, por consiguiente:

$$V_{d,agua} = 0,0121 \cdot V_t = 1,507L$$

Además, el vaso de expansión se llena con el denominado *volumen de reserva* para compensar de esta manera ciertas pérdidas de fluido (por ejemplo, debido a la purga de aire), así como la contracción del fluido a temperaturas muy bajas.

Para calcular la contracción se puede usar el coeficiente de dilatación mencionado anteriormente y suponer otro caso extremo referente a la diferencia de temperaturas de aproximadamente 30 K entre el llenado a 20°C y la operación a la temperatura inferior, por ejemplo, -10°C. Se trata en este caso de una suposición bastante segura, puesto que algunas de las tuberías se encuentran en el interior del edificio y nunca estarán expuestas a esta temperatura extremadamente fría. En caso de agua pura, el volumen de reserva que se necesita para la contracción será:

$$V_r \approx V_t \cdot 0,00018K^{-1} \cdot 30K = 0,0054 \cdot V_t = 0,672L$$

No es aconsejable que se utilice el volumen de reserva para la compensación de escape de fluido a través de las fugas, ya que las pérdidas de fluido simplemente no deberían producirse en un sistema de seguridad intrínseca.

Por otro lado, es bastante común que una parte del volumen de reserva sirva para compensar pérdidas de fluido debidas a la purga de aire durante la operación inicial.

El volumen de vapor que puede producirse en la instalación equivale a la suma del contenido líquido de los captadores, $V_{colectores}$, y de una determinada parte del volumen en las tuberías del circuito primario. Estimaremos un volumen de vapor en las conducciones de 4 litros.

$$V_{vapor} = V_{colectores} + V_{conducciones} = 31,2L$$

El volumen útil del vaso de expansión equivale a la suma del volumen de dilatación V_d , del volumen de reserva V_r , y del volumen de vapor V_{vapor} :

$$V_u = V_d + V_r + V_{vapor} = 33,379L$$

El volumen nominal del vaso de expansión debe ser considerablemente mayor al volumen útil, debido a que la presión en el lado del gas aumenta al entrar el líquido proveniente del circuito primario y, por lo tanto, el vaso de expansión no puede llenarse por completo. La relación entre el volumen nominal y el volumen útil del vaso de expansión está determinada por el denominado factor de presión:

$$V_n = F_p \cdot V_u$$

El factor de presión corresponde al cociente de la presión final (presión absoluta) y la diferencia entre la presión final y la presión inicial. El factor de presión se ha de calcular con la presión inicial en el lado del gas del vaso de expansión en vez de en el lado del fluido. La diferencia entre ambas presiones es la presión equivalente del volumen de reserva P_{vr} .

El factor de presión se obtiene, por consiguiente, de la siguiente manera:

$$F_p = \frac{P_{final} + 1}{P_{final} - P_{gas}}$$

La presión estática se calcula en función de la diferencia de cotas Δh , entre el vaso de expansión y el punto superior del circuito primario. Por lo general, el punto superior del circuito está definido por el borde superior del captador. La presión estática aumenta 1 bar por cada 10 metros de diferencia de cotas. En nuestro caso, existe una diferencia de alturas de aproximadamente 9,5 metros, con lo que:

$$P_{est} = \Delta h \cdot (1bar / 10m) = 0,95bar$$

Para evitar la entrada de aire en el circuito se fija la presión mínima en el estado frío del sistema P_{mf} , en el punto superior de la instalación, siempre por encima de la presión atmosférica. Por lo general, se recomienda un valor de 1,5 bar (superior a la atmosférica) para las instalaciones pequeñas, mientras que las de mayor tamaño suelen poseer un valor inferior.

Al ser nuestra instalación de un tamaño mediano, 40m^2 (según *CENSOLAR*, se puede considerar una instalación como mediana si: $10\text{m}^2 < A < 50\text{m}^2$), tomaremos un valor de presión algo inferior:

$$P_{mf} = 1,2\text{bar}$$

La presión inicial en el lado del gas del vaso de expansión P_{gas} , se calcula al sumar la presión estática P_{est} , con la presión mínima en el estado frío P_{mf} . La presión inicial en el lado del gas debe ajustarse con el vaso de expansión desconectado del circuito primario. Debido a que los vasos no suelen suministrarse con la presión justa, la adaptación se lleva a cabo durante su instalación.

$$P_{gas} = P_{mf} + P_{est} = 2,15\text{bar}$$

La presión nominal de la válvula de seguridad P_{vs} , constituye el límite de presión que nunca se debe alcanzar durante todas las condiciones de operación, incluso en estado de estancamiento. La presión nominal se elige en función de las presiones nominales de los componentes del circuito primario. En nuestro caso, los colectores solares poseen una presión de régimen admisible de 6 bar, menor que la de los demás componentes del circuito, así que elegimos ese valor de referencia.

$$P_{vs} = 6\text{bar}$$

A fin de evitar con total seguridad que salte la válvula de seguridad durante todas las condiciones de operación, es necesario dejar un margen entre la presión nominal de la válvula de seguridad y la presión máxima, o sea la presión final del sistema. Este margen equivale al 10% de la presión nominal de la válvula de seguridad, y al menos debe ser de 0,5 bar.

$$\Delta P \geq 0,1 \cdot P_{vs} = 0,1 \cdot 6 = 0,6\text{bar}$$

La presión final o presión máxima, en estado caliente del sistema, con evaporación máxima, que se obtiene es la siguiente:

$$P_{final} = P_{vs} - \Delta P_m = 6 - 0,6 = 5,4\text{bar}$$

Una vez que se haya determinado el volumen de reserva V_r , se podrá calcular la presión equivalente del volumen de reserva P_{vr} . Y por medio de esta presión equivalente se establecerá la presión inicial en el estado frío del sistema.

La presión inicial en el estado frío del sistema sobrepasa la presión inicial en el lado del gas del vaso de expansión exactamente en un valor igual a la presión equivalente al volumen de reserva. De este modo, se traspasará desde el circuito primario hacia el vaso de expansión una determinada cantidad de fluido tan pronto como el vaso de expansión previamente presurizado esté conectado al circuito.

$$P_{vr} = (P_{final} - P_{gas}) \cdot \frac{V_r}{V_u} = 0,065\text{bar}$$

Especialmente en el caso de instalaciones de gran tamaño, el proyectista deberá suministrar el valor de P_{vr} al instalador para que éste pueda ajustar la presión inicial correctamente durante el llenado y la presurización del circuito. La presión inicial en el estado frío del sistema equivaldrá entonces a la presión inicial en el lado del gas del vaso de expansión, a la que se suma la presión equivalente del volumen de reserva.

$$P_{inicial} = P_{gas} + P_{vr} = 2,215bar$$

Con este último dato podemos calcular el factor de presión F_p :

$$F_p = \frac{P_{final} + 1}{P_{final} - P_{gas}} = 1,969$$

Por lo tanto:

$$V_n > F_p \cdot V_u = 65,731L$$

El volumen mínimo del depósito de expansión necesario para nuestra instalación es de aproximadamente 66 litros. Para nuestra instalación emplearemos un vaso de expansión del fabricante *Salvador Escoda* modelo *80 CMF* de 80 litros de capacidad (para ver las características técnicas véase el anexo IV).



Figura 6.14.- Vaso de expansión 80 CMF (fuente: Salvador Escoda).

6.2.5.- Intercambiador de calor:

En nuestra instalación se va a emplear el intercambiador de calor para aislar e independizar el circuito primario.

En una instalación solar la temperatura de entrada se encuentra en variación continua, pudiendo llegar a alcanzar valores muy altos. Estos calores alcanzados en el circuito primario pueden tener reflejo en los circuitos secundario y de consumo, gracias al intercambiador.

El empleo de un intercambiador de calor que separe el circuito primario del agua de consumo limita las deposiciones calcáreas en el circuito primario (especialmente en el sistema de captación) a la cantidad de cal contenida en el volumen de agua que circula por este circuito.

Por razones de localización geográfica se hace necesaria la utilización de anticongelantes en el circuito primario para evitar daños en la instalación a causa de las heladas. Para evitar el mezclado del anticongelante con el agua que se va a emplear para uso doméstico se coloca un intercambiador de calor entre el circuito primario y el secundario. De este modo, en el circuito primario circula agua mezclada con anticongelante y en el circuito secundario circula el agua destinada para el consumo y el intercambiador es el encargado de transmitir el calor captado por el circuito primario al secundario.

Adicionalmente, la utilización de un intercambiador presenta la ventaja de disminuir los riesgos de corrosión en los circuitos cerrados ya que el contenido de oxígeno disuelto en agua se encuentra limitado. Este oxígeno es uno de los principales responsables de la corrosión en los sistemas de captación, si bien también se han de tomar precauciones en la selección de los materiales empleados en el correspondiente circuito.

La temperatura en la salida de los captadores puede ser afectada de forma muy brusca por las condiciones climatológicas. En los sistemas en los que el intercambiador independiza el circuito primario, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 4) Al dimensionar el intercambiador se ha de tener en cuenta que este ha de transferir toda la potencia térmica generada en el sistema de captación. En este sentido se considera habitualmente un rango de potencia térmica en m^2 de captador solar comprendido entre 500 y 600 W/m^2 .
- 5) En este dimensionado se han de seleccionar los caudales de los circuitos primario y secundario de forma que las capacidades caloríficas de ambos fluidos ($\dot{m} \cdot C_p$), sean similares en ambos circuitos y, en cualquier caso, nunca sea inferior la capacidad calorífica del circuito primario.
- 6) Con objeto de disminuir la potencia eléctrica de bombeo se ha de minimizar la pérdida de carga del intercambiador.

El intercambiador de calor que vamos a utilizar en nuestra instalación será de placas planas.

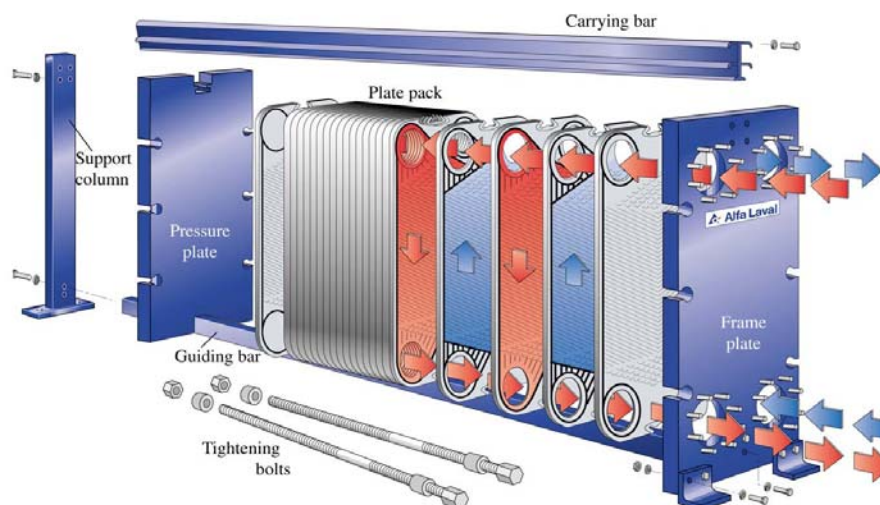


Figura 6.15.- Intercambiador de calor de placas planas (fuente: apuntes Ingeniería Térmica I).

Los componentes principales de este tipo de intercambiadores son:

- *Bastidor*: suele ser de acero al carbono, con excepción de zonas de contacto con los fluidos. Su misión es la de mantener las placas unidas, proporcionando un buen sellado y formando una estructura rígida. El sellado se hace por medio de juntas fabricadas de elastómeros o soldados.
- *Placas*: se fabrican prensando láminas delgadas de gran variedad de aleaciones y metales resistentes a la corrosión. El más usado es acero inoxidable. El espesor de las placas está comprendido entre 0,5 – 1 mm.

Las principales ventajas que presenta el uso de este tipo de intercambiadores en estas instalaciones son:

- Fácil desmontaje (los intercambiadores de juntas).
- Mayor coeficiente global de transferencia de calor.
- Menor área de transferencia.
- Tamaño compacto.
- Menor inversión.
- Permiten utilizar flujos en contracorriente.
- Aproximaciones de temperaturas más cercanas.
- Mayor control de la temperatura
- Se pueden predecir de antemano las caídas de presión y temperatura.
- Bajo volumen de retención.
- Poca acumulación de suciedad.
- Bajo coste de operación.
- Adaptabilidad y diseño modular.
- Amplio rango de funcionamiento.

Para dimensionar el intercambiador de placas planas necesario para nuestra instalación, lo primero que necesitamos conocer son las temperaturas del fluido caliente (circuito primario) y las del fluido frío (circuito secundario). Para ello tomaremos los valores medios anuales de las temperaturas.

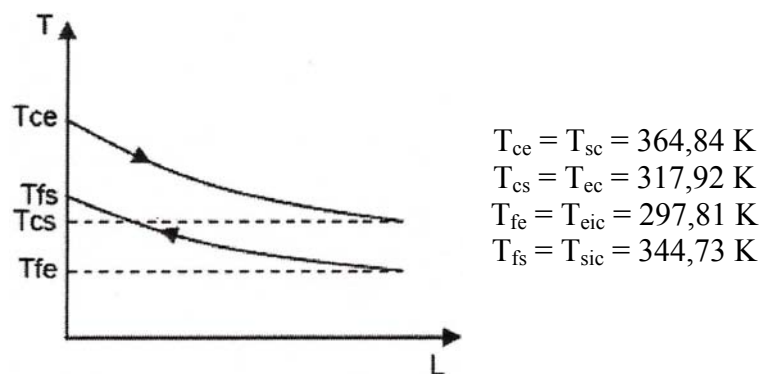


Figura 6.16.- Distribución de temperaturas de ambos fluidos en función de la longitud del canal.

Los fluidos que circulan a través del intercambiador de calor están a contracorriente para mejorar la transferencia de calor entre las placas.

Al ser el intercambiador de calor simétrico, el flujo másico que circula tanto por el circuito primario como por el secundario es el mismo:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_f = 0,0911 \text{ kg/s}$$

Las propiedades del agua son las mismas para ambos circuitos, puesto que en el circuito primario no hay agua con anticongelante debido a que el riesgo de heladas en Santa Cruz de Tenerife es nulo.

ρ [kg/m ³]	C_p [J/ kg·K]	k [W/m·K]	μ [J/ kg·K]
1.000	4.180	0,598	$1,028 \cdot 10^{-3}$

Tabla 35.- Propiedades del agua que circula por el intercambiador.

Las características del intercambiador de calor que hemos escogido son las siguientes:

- Volumen del canal: $V = 0,25 \text{ L}$.
- Longitud efectiva de la placa: $L = 526 \text{ mm}$.
- Ancho efectivo de la placa: $W = 112 \text{ mm}$.
- Espesor de la placa: $e_p = 1 \text{ mm}$.
- Conductividad térmica de la placa: $k_p = 16,3 \text{ W/m·K}$. El material de la placa es acero al carbono (AISI 316).

Inicialmente vamos a suponer un número 50 de placas. Posteriormente iteraremos hasta encontrar el número de placas definitivas que deberá tener nuestro intercambiador de calor.

Necesitamos calcular varios parámetros necesarios para poder diseñar correctamente el intercambiador de calor:

- Distancia entre placas: $b = \frac{V}{L \cdot W} = 4,24 \text{ mm}$
- Longitud característica del canal: $L_c = 2 \cdot b = 8,49 \text{ mm}$
- Velocidades de los fluidos que circulan por los canales:

$$V_{\text{canal}_c} = V_{\text{canal}_f} = \frac{\dot{m}_c}{\rho \cdot W \cdot b} = 0,00782 \text{ m/s}$$

Con estos datos podemos calcular el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_c}\right) + \left(\frac{1}{h_f}\right) + \left(\frac{e_p}{k_p}\right) + 2 \cdot R_{cont}}$$

donde:

h_c : coeficiente de flujo convectivo del fluido caliente.

h_f : coeficiente de flujo convectivo del fluido frío.

R_{cont} : resistencia térmica de contaminantes. Suponemos una $R_{cont} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s/kg}$

Para poder hallar los flujos convectivos tanto para el fluido caliente como para el fluido frío tenemos que calcular primero el número de Reynolds, el número de Prandtl y el número de Nusselt.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V_{canal} \cdot L_c}{\mu} = 64,591$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = 7,186$$

$$\text{Nu} = 0,4 \cdot \text{Re}^{0,64} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 12,681$$

Como para ambos casos se trata solamente de agua, el flujo convectivo del fluido caliente será el mismo que para el fluido frío.

$$h_c = h_f = \frac{\text{Nu} \cdot k}{L_c} = 893,494 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Ahora podemos calcular el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{893,494}\right) + \left(\frac{1}{893,494}\right) + \left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{16,3}\right) + 2 \cdot (3 \cdot 10^{-5})} = 423,773 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Una vez obtenido el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor, tenemos que comprobar si el número de placas seleccionado es el correcto. Si no es así, deberemos iterar hasta que el número de placas coincida.

Los cálculos para comprobar si el número de placas es el adecuado son los siguientes.

En primer lugar calculamos la diferencia media logarítmica de temperatura relativa para flujos en contracorriente:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(T_{cs} - T_{fe}) - (T_{ce} - T_{fs})}{\ln\left(\frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}}\right)} = 19,690$$

Una vez conocida esta temperatura, podemos calcular el área de transferencia de calor:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m} = \frac{\dot{m}_f \cdot C_{p_f} \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{U \cdot \Delta T_m} = 2,141 m^2$$

donde Q es la potencia térmica a transferir por el intercambiador de calor al fluido frío del circuito secundario.

Por último comprobamos si el número de placas coincide con el número de placas considerado en los cálculos iniciales.

$$N_{placas} = \frac{A}{L \cdot W} = 36,347$$

Vemos que el número de placas no coincide con las que en un principio supusimos. Por tanto, habrá que realizar una serie de iteraciones hasta llegar a una solución correcta. El valor del coeficiente global de transferencia de calor U , irá variando en función del número de placas que obtengamos en cada iteración.

Número de iteraciones	Número de placas iniciales	Coeficiente global de transferencia de calor, U [W/K·m ²]	Número de placas finales
1	50	423,773	36,347
2	45	452,334	34,052
3	40	486,496	31,661
4	35	528,283	29,156
5	30	580,905	26,515
6	25	649,802	23,704
7	24	666,294	23,117
8	23	683,926	22,521
9	22	702,831	21,915

Tabla 36.- Iteraciones para el dimensionado del intercambiador de calor.

Para realizar los cálculos previos al dimensionado de la instalación supusimos una eficiencia del intercambiador de calor del 70%. Vamos a comprobar que dicha suposición es correcta:

$$\varepsilon = \frac{Q}{(\dot{m} \cdot C_p)_{\min} \cdot (T_{ce} - T_{fe})} = \frac{\dot{m}_f \cdot C_{p_f} \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{(\dot{m} \cdot C_p)_{\min} \cdot (T_{ce} - T_{fe})} = \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{(T_{ce} - T_{fe})} = \frac{344,73 - 297,81}{364,84 - 297,81} = 0,699$$

El intercambiador de calor de placas planas escogido para nuestra instalación nos lo facilita la empresa *Alfa Laval*. Dentro de la gran variedad de intercambiadores que nos ofrece este fabricante, nos decantaremos por el modelo *CB-52*.



Figura 6.17.- Intercambiador de calor de la gama CB 14-77 de ALFA LAVAL.

Finalmente tenemos que calcular la pérdida de carga que se produce en el intercambiador de calor. La pérdida relativa para cada fluido es la misma, ya que estamos trabajando con el mismo fluido, por tanto:

$$\Delta P_c = \Delta P_f = 4 \cdot f \cdot \frac{L}{L_c} \cdot \frac{\rho \cdot V_{canal}^2}{2}$$

El factor de fricción f , es función del valor del número de Reynolds: $f = C \cdot Re^m$

Re	C	m
$Re < 10$	17	-1
$10 < Re < 101$	6,29	-0.57
$101 < Re < 855$	1,141	-0.2
$Re > 855$	0,581	-0,1

Tabla 37.- Parámetros para calcular el factor de fricción.

De los resultados anteriores, sabemos que el número de Reynolds vale:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{canal} \cdot L_c}{\mu} = \frac{1.000 \cdot 0,01825 \cdot 0,00849}{0,001028} = 150,712 \rightarrow f = 0,418$$

De esta manera tenemos unas pérdidas de carga en el intercambiador de calor de:

$$\Delta P_c = \Delta P_f = 4 \cdot 0,418 \cdot \frac{0,526}{0,00849} \cdot \frac{1.000 \cdot (0,336)^2}{2} = 5847,40 Pa = 57,70 mbar$$

6.2.6.- Otros elementos:

A) Purgador de aire.

Este elemento se encarga de evacuar los gases, generalmente aire, que puedan contenerse en el fluido caloportador. La presencia de estos gases en el circuito, impide la correcta circulación del fluido y provoca corrosión en tuberías y colectores.

El purgador se debe colocar en los puntos más altos de la instalación, según la *ITE 05.2*, ya que es la zona donde se acumulan los gases. Se colocarán 4 purgadores, uno en cada salida de cada una de las baterías de colectores. Estos purgadores serán fundamentales para evitar la existencia de gases en el llenado de la instalación antes de su puesta en marcha.



Figura 6.18 .- Purgador de aire HONEYWELL E121.

B) Válvula de seguridad.

Su función es la de limitar la presión en el circuito y así proteger los componentes del mismo. La válvula de seguridad se debe tarar a una presión inferior a la presión que pueda soportar el elemento más delicado de la instalación, que suele ser el depósito de expansión o los colectores solares.

En nuestro caso, el elemento más delicado es el captador solar, por lo que se debe marcar a una presión inferior a la máxima soportada por los colectores que es de 6 bar. Por lo tanto, la presión de tarado de la válvula de seguridad en el circuito primario será de 5 bar.



Figura 6.19 .- Válvula de seguridad HONEYWELL SM 120.

C) Válvula antirretorno.

Son las encargadas de permitir el paso del fluido en un sentido e impedirlo en el contrario.

Evitan los flujos inversos no deseados que se producen, cuando las configuraciones de los circuitos lo permiten, entre acumulador y captadores. En caso de no tomar precauciones adecuadas puede haber pérdidas térmicas significativas producidas por un efecto termosifón del agua caliente acumulada apoyada por la capacidad de enfriamiento nocturno de los captadores.

Existen dos tipos:

- *Válvula antirretorno de obús*: constan de un obús obturador que es movido por un muelle, que a su vez es movido por un fluido.
- *Válvula antirretorno de clapeta*: constan de una compuerta que permite el paso en un sentido, abriéndose al empuje del fluido, mientras que lo evita en el sentido contrario.

Nos decantaremos por la válvula de clapeta por su menor pérdida de carga.



Figura 6. 20.- Válvula antirretorno de clapeta.

D) Válvula de vaciado.

Se utilizan cuando es necesario vaciar la instalación para operaciones de mantenimiento o reparación de alguno de los componentes del sistema. Para realizarlo de manera cómoda y sencilla se coloca en la parte inferior del circuito. La válvula de vaciado descargará sobre el depósito de llenado con el fin de reutilizar la solución del fluido caloportador.

E) Válvula de paso.

La función de estas válvulas es la de interrumpir total o parcialmente el paso de fluido por las conducciones. Las de cierre total se utilizan para aislar una parte de la instalación del servicio, mientras que las de cierre parcial sirven para producir una pérdida de carga adicional al circuito, con el objetivo de regular el caudal o equilibrar la instalación. Los diferentes tipos de válvulas son de asiento, compuerta, mariposa y de bola o esfera.

Las válvulas que se utilizarán son las de bola y se instalarán antes y después de aquellos elementos de la instalación susceptibles de sufrir alguna avería, con el objeto de poder sustituirlos o repararlos de manera sencilla y sin necesidad de vaciar la instalación. Los elementos que llevarán válvulas de bola delante y detrás de ellos son las bombas de circulación, depósitos, etc.



Figura 6.21 .- Sección de una válvula de paso de bola.

F) Regulador solar.

El regulador solar es la central de cómputo y almacenamiento de información. Genera órdenes y las envía a los elementos eléctricos externos. En la pantalla se visualiza la temperatura en los puntos vitales de la instalación.

El control de funcionamiento normal de las bombas será siempre de tipo diferencial y debe actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de batería de colectores y la del depósito de acumulación.

Este sistema de control diferencial se utiliza en instalaciones solares para controlar el proceso de calentamiento del sistema de acumulación y, en determinadas configuraciones, el proceso de descarga térmica del sistema de acumulación. En su modalidad básica dispone de dos entradas y de una salida. Funciona en base a la diferencia de dos señales de entrada correspondientes a dos sensores de temperatura (salida del captador solar y parte inferior del acumulador) que transmiten estas señales al circuito electrónico correspondiente del regulador. La salida es un relé de contacto que activa o desactiva el funcionamiento de las bombas de la instalación; de modo que cuando la temperatura de salida del captador sea mayor que la del acumulador en una determinada cantidad prefijada en el regulador, se pondrán en marcha las bombas.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

Hay que tener en cuenta que la diferencia de temperaturas debe ser lo suficientemente amplia para garantizar un beneficio en el funcionamiento. Esto se debe a que se producen diferentes fenómenos que pueden inducir a un mal funcionamiento de la instalación. Los más comunes son:

- Pérdida de temperatura en el circuito de retorno que puede ser entorno a 1°C.
- Las tolerancias de la sonda y del regulador alrededor de 1° ó 2°C.
- Una diferencia mínima en el intercambiador para su correcto funcionamiento de entorno a los 4°C.

Esto hace que sea aconsejable utilizar un diferencial mínimo de 6°C.

El regulador solar debe asegurar que en ningún caso las bombas puedan estar en marcha con diferencias de temperaturas entre la salida de captadores y el acumulador inferiores a 2°C y que en ningún caso estén paradas con diferencias superiores a 7°C, según indica el ITE 10.1.5 “sistemas de control”.



Figura 6.22 .- Termostato diferencial HONEYWELL DTC 100/2.

En las instalaciones solares destacan las siguientes funciones relativas al control de temperaturas.

- *Sistema de protección frente a heladas*: consiste en activar la bomba del circuito primario cuando la temperatura a la salida de los captadores es inferior a la de consigna previamente establecida. Esta temperatura de consigna es normalmente de 3°C superior a la temperatura de congelación del fluido de trabajo.
- *Limitador de temperatura máxima en acumulador*: mediante esta función se detiene el proceso de carga térmica del acumulador cuando se alcanza la temperatura máxima que puede soportar el acumulador, evitándose por tanto el posible deterioro de los materiales debido a excesos de temperatura.

Los termómetros son los encargados de medir la temperatura del fluido. Los termostatos son los encargados de transformar una lectura de temperatura en una señal eléctrica que ponga en funcionamiento un determinado mecanismo.

Para ambos, los hay de dos tipos:

- *De contacto*: de tipo abrazadera, los cuales se colocan en contacto con las tuberías a través de dicha pieza.
- *De inmersión*: van introducidos dentro de una vaina que se coloca en el interior de la tubería, con lo que su fiabilidad es mucho mayor al ser el contacto con el fluido mucho más directo.

G) Grupo de llenado.

Hay elementos que si bien no son necesarios para la correcta ejecución de una instalación de energía solar térmica facilitan la puesta en marcha de la misma y su posterior mantenimiento. Rellenar la instalación de forma apropiada y comprobar periódicamente que el fluido solar mantiene sus características es vital si queremos que la instalación no pierda ni rendimiento energético ni su capacidad de protección anti-heladas.

6.3.- Circuito secundario.

Es el circuito que llega a los puntos de consumo. Se compone principalmente de los siguientes elementos:

- Acumuladores de ACS.
- Conducciones.
- Bomba de circulación.
- Sistema de energía de apoyo.

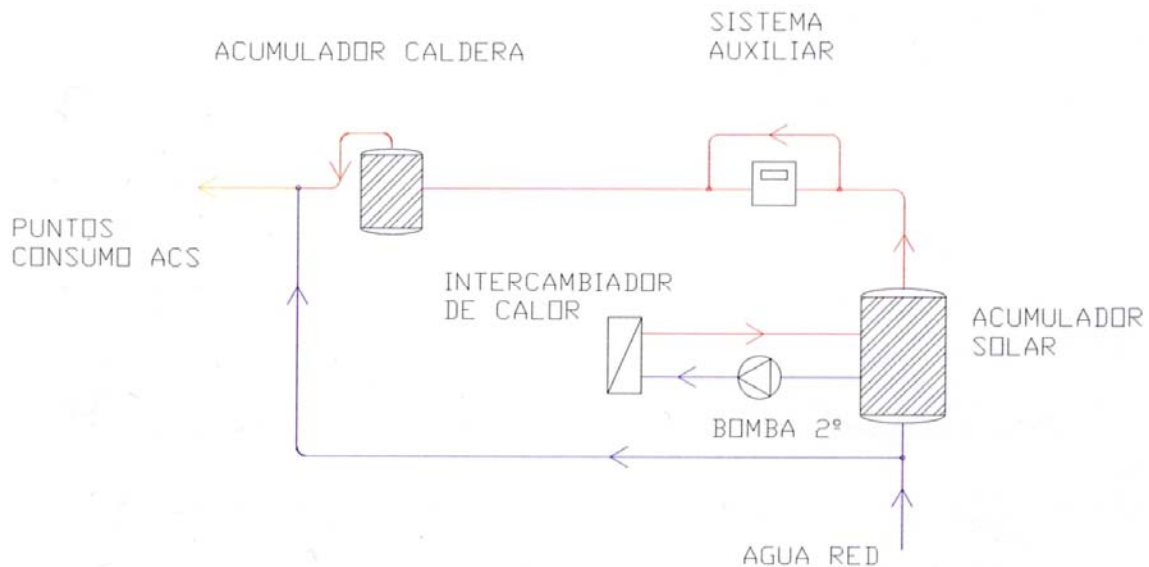


Figura 6.23.- Esquema del circuito secundario.

6.3.1.- Acumuladores de ACS.

Los depósitos acumuladores de ACS se pueden dividir en dos tipos dentro del proyecto: por un lado está el acumulador solar, que es el encargado de almacenar la energía procedente de los paneles solares, y por otro el acumulador de caldera, que es el encargado de garantizar el suministro de agua caliente sanitaria en las condiciones de confort estipuladas.

A) Acumulador solar.

Sin duda, la energía que se recibe del Sol no siempre coincide con las épocas de mayor consumo. Por ese motivo, si se quiere aprovechar al máximo la energía que nos concede el Sol, será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día que más radiación existe, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor en depósitos especialmente diseñados para este fin. Según las características específicas del tanque de almacenamiento y los materiales con los que haya sido fabricado, podremos conseguir guardar las calorías ganadas durante más o menos tiempo; desde unas horas (ciclo de la noche al día), hasta dos días como máximo.

Uno de los factores a tener en cuenta a la hora de elegir el material del acumulador es el problema de la corrosión, ya que una de las consecuencias derivadas de este problema es que el óxido y los sedimentos favorecen el desarrollo de la legionela, por lo que es esencial evitarla. Además existen otros problemas clásicos como son:

- Posible coloración del agua caliente, lo que provoca un rechazo de los consumidores y en algunos casos disminución inaceptable de la calidad del agua.
- Problemas de suministro debido a perforaciones de los acumuladores.
- Costes derivados de la reparación, protección o sustitución de los acumuladores.

Existen múltiples factores que inciden en el tiempo en el que se producen los daños por corrosión en los acumuladores de agua caliente. Uno de esos factores que incide de manera notable en la velocidad de corrosión de la mayoría de materiales, es la elevación de la temperatura de trabajo. Por ello no puede decirse que exista una solución a base de seleccionar un material determinado que permita garantías en todos los tipos de agua.

La norma indica que la superficie interior de los depósitos y tuberías deberá ser resistente a la acción del agua a la temperatura de 70°C y del cloro disuelto en la misma a concentraciones de hasta 50 ppm.

Para evitar que se produzca un ataque rápido debido a la corrosión, existen dos grandes tendencias: por un lado la construcción del acumulador con materiales como algún tipo de acero inoxidable, el cobre o algunos tipos de plásticos, y por otro lado la utilización de un revestimiento interior. Esta última solución para evitar la corrosión, por si sola no suele ser suficiente, por lo que los depósitos necesitan llevar una protección catódica para garantizar la ausencia de corrosión en el interior del acumulador durante el periodo de vida de los ánodos. Además, materiales como el acero galvanizado, muy empleado en el pasado en la fabricación de acumuladores, no son aptos para resistir la acción agresiva de una fuerte dosis de cloro o de una temperatura elevada.

El riesgo de proliferación de la bacteria de la legionela crece al aumentar el volumen de agua almacenado. Pero en el caso de las instalaciones solares, la reglamentación exige un volumen de acumulación (en los depósitos solares) de entre el 80% y el 100% del consumo diario de ACS, si el consumo es regular a lo largo de todo el año.

En los sistemas de acumulación se debe procurar que el agua esté dividida en dos capas a temperaturas diferentes: la del agua fría y la del agua caliente, separadas entre sí por una capa a temperatura intermedia (es la capa de mayor riesgo, porque estará a una temperatura ideal para la proliferación de la bacteria). El volumen de esta capa deberá ser lo más reducida posible, para que sea máximo el volumen útil del sistema de acumulación. En otras palabras: se debe favorecer la estratificación del agua, empleando depósitos cilíndricos verticales de diámetro reducido y gran altura.

Cuando un acumulador se encuentra estratificado la temperatura del mismo es función de su altura vertical, decreciendo la temperatura de la parte superior a la inferior.

La calidad de la estratificación viene dada por los procesos de:

- Calentamiento o carga térmica.
- Mezcla por circulación interna o durante la descarga térmica.
- Degradación por transferencia térmica.

En estos procesos tienen gran importancia la configuración del acumulador, la situación de las conexiones y las velocidades de circulación del fluido en el interior.

Para favorecer la estratificación, la entrada y la salida del depósito al intercambiador de calor se sitúan en la zona inferior de dicho depósito, de tal manera que al entrar el agua caliente procedente del intercambiador, tenderá a subir por efecto termosifón produciéndose el intercambio de calor con el agua más fría que se encuentra en el acumulador. La entrada del agua procedente del intercambiador, se situará por encima de la salida para evitar que se produzca una circulación de agua sin que haya intercambio en el acumulador.

La eficiencia de una instalación solar aumenta al hacerlo la estratificación de temperaturas alcanzadas en el acumulador porque:

- Cuando existe consumo de agua caliente, al estar el agua más caliente en la parte superior, es ésta la que va primero hacia el consumo consiguiéndose por tanto trasvasar el agua a mayor temperatura y retardar, en su caso, la activación del sistema de apoyo.
- El agua almacenada en la parte inferior se encuentra a menor temperatura por lo que el agua que va desde el acumulador hasta los captadores o el fluido de trabajo que va desde el intercambiador hacia los captadores también está a menor temperatura. En ambas situaciones la temperatura de entrada a captadores es más baja y por tanto el rendimiento de éstos aumenta.

El intercambiador de calor será exterior, con lo que los acumuladores estarán vacíos de serpentines interiores, lo que facilitará su limpieza, mantenimiento y protección.

El depósito acumulador debe tener una boca de registro y limpieza para facilitar su mantenimiento. También debe tener una válvula de vaciado en la parte más baja, para que siempre que se necesite, el depósito quede totalmente vacío. Como elemento de protección, se colocará una válvula de seguridad que evite que la instalación sufra sobrepresiones. Debe tener también sus correspondientes válvulas de corte para que, en cualquier operación que se realice (reparación, limpieza, etc), pueda ser aislado del resto de la instalación. Además, dicho depósito llevará un termómetro para poder visualizar la temperatura directamente y una sonda de temperatura que regule la circulación del fluido portador de calor por el intercambiador.

Nos vamos a valer del *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)* y sus *Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)* para poder calcular el volumen del depósito de acumulación.

Conocido el consumo medio diario de ACS (véase *Tabla 3*), se puede obtener el volumen del acumulador solar mediante los requisitos exigidos en el *ITE 10.1.3.2*,

donde se indica que las instalaciones cuyo consumo sea constante a lo largo del año, el volumen del depósito de acumulación cumplirá la condición:

$$0,8 \cdot M \leq V \leq M$$

donde:

M : consumo medio diario de los meses de verano. $M = 3.215,52$ L/día.

V : volumen del depósito acumulador.

Por lo tanto, el volumen de acumulación (en litros) estará comprendido entre los siguientes valores:

$$2.572,42 \leq V \leq 3.215,52$$

El fabricante *Saunier Duval* nos facilita una amplia gama de acumuladores para instalaciones colectivas. Los acumuladores de acero con recubrimiento epoxidico BDLE han sido diseñado y fabricados para instalaciones que requieran un gran volumen de acumulación. Todos los acumuladores de esta gama están dotados de protección catódica con ánodos permanentes y todos disponen de boca de hombre de 400 mm según normativa vigente. Dentro de la misma escogeremos el modelo de 3.000 L de acero vitrificado con revestimiento epoxidico de calidad alimentaria (ver anexo IV).

Uno de los aspectos más importantes de los acumuladores es el dimensionado del aislamiento para evitar, en la medida de lo posible, pérdidas por transferencia de calor. Para el cálculo del espesor del aislamiento, se ha seguido el apéndice 03.1 de la *ITE 03*, en la que se indica que para depósitos de más de 2 m² de superficie, el espesor del aislamiento deber ser de 50 mm. El acumulador que hemos escogido tiene una capa de aislamiento de poliuretano de alta densidad de 50 mm, libre de CFC, que cumple perfectamente con las condiciones del *ITE 03*.

B) Acumulador de caldera.

El volumen de este acumulador será el mínimo necesario para cubrir con garantías la demandada de agua caliente en las puntas de consumo. El objetivo de minimizar el volumen de acumulación, es que nos permite ahorrar en espacio y servir de medida de prevención en la proliferación de la legionela.

La función de este acumulador es la de garantizar que el agua que va a ser consumida alcance la temperatura de 60°C antes de la distribución hacia el consumo, ya que no se puede asegurar esta temperatura en el acumulador solar. El volumen de acumulación necesario para cubrir toda la demanda en el periodo de punta lo calculamos con anterioridad (en el punto “5.4 volumen de acumulación de ACS” del presente Proyecto), y obtuvimos que es necesario un acumulador de 3.500L.

Por tanto, para el acumulador de caldera también utilizaremos un acumulador modelo BDLE de 3.500 L de acero vitrificado con revestimiento epoxidico de calidad alimentaria del fabricante *Saunier Duval*.

El acumulador de caldera también llevará una válvula de seguridad, una válvula de vaciado, las correspondientes válvulas de corte para poder aislar el elemento del resto de la instalación, un termómetro y un termostato para mantener la temperatura de consigna.

6.3.2.- Conducciones del circuito secundario.

Es muy importante la elección del material de las tuberías del circuito secundario, con el fin de prevenir la legionela. Dicho material ha de ser resistente a la corrosión, ya que dicho fenómeno favorece la proliferación de la bacteria.

Por ello, se ha decidido que el material a utilizar sea polipropileno, material plástico en el que no se produce corrosión. Las tuberías elegidas serán del fabricante *Aquatherm Ibérica S.L.* con el sistema fusiotherm.

Cálculo del caudal y el diámetro de las tuberías.

El caudal que circula por el circuito secundario, del intercambiador de calor al acumulador solar, debe ser el mismo que circulaba por el circuito primario, es decir $4Q_1$ o lo que es lo mismo $1,616 \text{ m}^3/\text{h}$. Sabiendo que las conexiones existentes en el depósito acumulador son de 3" (ver anexo IV) escogeremos la tubería de *P.P. SDR 7,4 / S 3.2* de diámetro exterior 90 mm y diámetro interior 65,4 mm (ver anexo IV). Por lo tanto, ya podemos saber la velocidad a la que circulará el fluido por dicho tramo:

$$4Q_1 = v \cdot A$$

$$v = \frac{4Q_1}{A} = \frac{4Q_1}{\pi \cdot \frac{\phi_i^2}{4}} = \frac{1,616 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3.600\text{s}}}{\pi \cdot \frac{(65,4 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 0,14 \text{ m/s}$$

El caudal que circulará desde el acumulador solar hasta el acumulador de caldera y de éste hasta la bifurcación para el consumo (figura 6.24) debe ser igual a la demanda de ACS que se produce en el periodo de punta. Como ya vimos en el capítulo 5 del presente Proyecto, el caudal máximo horario C_{max} , que obtuvimos fue de $0,488 \text{ L/s}$, al que llamaremos $2Q_2$.

El diámetro de tubería que irá desde la salida del acumulador solar a la entrada del de caldera es el mismo de antes; es decir 3", por lo que escogeremos el mismo modelo de tubería que para el caso anterior: *P.P. SDR 7,4 / S 3.2* de diámetro exterior 90 mm y diámetro interior 65,4 mm. Conocidos el caudal y el área podemos determinar la velocidad con la que circulará el fluido:

$$v = \frac{2Q_2}{A} = \frac{2Q_2}{\pi \cdot \frac{\phi_i^2}{4}} = \frac{0,488 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1\text{L}}}{\pi \cdot \frac{(65,4 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 0,14 \text{ m/s}$$

El fabricante *Aquatherm Ibérica S.L.* nos facilita los datos de cálculo para el modelo de tubería escogido (ver anexo IV). Si nos fijamos, los valores de velocidad calculados son prácticamente los mismos que los facilitados por el fabricante.

El caudal que sale del acumulador de caldera hacia el consumo $2Q_2$, se bifurca en 4 ramales, uno para cada bloque de viviendas, circulando por cada ramal un caudal de

$Q_2/2$ de 0,122 L/s. Queriendo mantener una velocidad adecuada en las conducciones, se decide escoger una tubería *P.P. SDR 7,4 / S 3.2* de diámetro exterior 50 mm (ver anexo IV).

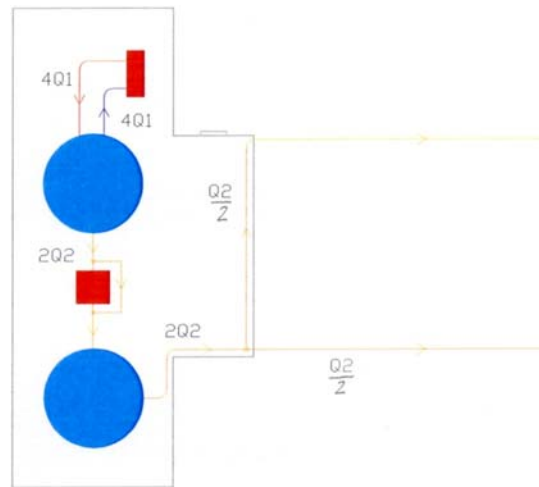


Figura 6.24.- Caudal que circula por el circuito secundario.

Cálculo de las pérdidas por rozamiento en las tuberías.

El fabricante *Aquatherm Ibérica S.L.* facilita una tabla de las tuberías *fusiotherm* modelo *P.P. SDR 7,4 / S 3.2* en la que nos proporciona la pérdida de presión y la velocidad del fluido que circula por las tuberías, en función del caudal y el diámetro (ver anexo IV).

Conociendo los valores del caudal que circula por las tuberías y el diámetro de las mismas podemos conocer las pérdidas por rozamiento en las tuberías:

- *Tramo del intercambiador al acumulador solar:* para un caudal de 1,616 m³/h (0,449 L/s) y un diámetro exterior de 90 mm, tenemos una pérdida por fricción de 0,045 mbar/m.
- *Tramo del acumulador solar a bifurcación:* para un caudal de 0,488 L/s y un diámetro exterior de 90 mm, tenemos una pérdida por fricción de 0,05 mbar/m.
- *Tramo de bifurcación a consumo:* para un caudal de 0,122 L/s y un diámetro exterior de 50 mm, tenemos pérdida por fricción de 0,07 mbar/m.

Aislamiento de las conducciones.

El fabricante de tuberías de propileno *fusiotherm*, nos da unos valores indicativos para los espesores de los diferentes diámetros de tubería que fabrican. Además nos ofrece diversos espesores en función de la conductividad térmica que tenga el material aislante a utilizar. En nuestro caso utilizaremos aislantes *SH Armaflex*, al igual que hicimos para las tuberías del circuito primario.

A continuación se muestran los espesores recomendados:

- Para un diámetro exterior de 90 mm y un espesor mínimo del 50%, tenemos que el espesor del aislamiento a de ser de $e = 27$ mm.
- Para un diámetro exterior de 50 mm y un espesor mínimo del 100%, tenemos que el espesor del aislamiento a de ser de $e = 27$ mm.

6.3.3.- Bomba de circulación.

Para la elección de la bomba es necesario conocer los siguientes datos:

- Caudal que va a circular por la bomba.
- Pérdidas de carga de las conducciones, en el intercambiador de calor y las imprevistas en los acumuladores.

El caudal que circula por el circuito secundario desde el intercambiador de calor hasta el acumulador solar será el que circule por la bomba, por tanto dicho caudal es $4Q_1$, es decir $1,616 \text{ m}^3/\text{h}$ (1.616 L/h).

Una vez hallado el caudal necesario, hay que determinar las pérdidas de carga que se producen en la instalación:

- Pérdidas de carga en las tuberías: $0,36 \text{ m c.a.}$
- Pérdidas de carga del intercambiador de calor: $0,577 \text{ m c.a.}$
- Pérdidas de carga imprevistas en los acumuladores: $0,094 \text{ m c.a.}$ (las consideraremos como un 10% de las pérdidas de la instalación).
- Pérdidas de carga individuales de las piezas de empalme: $0,155 \text{ m c.a.}$ (tomando como valor aproximado entre un 10% y un 20% de las pérdidas en la instalación).

Calculamos la potencia de la bomba necesaria:

$$P = C \cdot \Delta P = 1,616 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3.600\text{s}} \cdot 0,119\text{bar} \cdot \frac{101.325\text{Pa}}{1\text{bar}} = 5,41\text{W}$$

Conociendo todos estos datos, se ha decidido escoger una bomba circuladora sencilla GRUNDFOS gama ALPHA PRO modelo 25 – 60. Para conocer los datos técnicos de la bomba véase el anexo IV.



Figura 6.25.- Bomba de circulación GRUNDFOS modelo ALPHA PRO 25-60

6.3.4.- Sistema de energía de apoyo.

El sistema de energía auxiliar es un elemento imprescindible en toda instalación solar si no se quieren sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto. Para prevenir estas situaciones, casi la totalidad de los sistemas de energía solar térmica cuentan con un apoyo basado en energías “convencionales”. La fuente de apoyo es muy variable, aunque en general es recomendable que se encuentre vinculada a un sistema de control.

Los sistemas de producción de ACS con sistemas de apoyo tienen que cumplir, de forma resumida, las siguientes condiciones para aprovechar adecuadamente las prestaciones energéticas aportadas por la instalación solar:

- Admitir agua caliente en la entrada.
- Disponer de regulación de la temperatura de salida.

A efectos energéticos, los factores que más influyen en el comportamiento de un sistema con acumulación son el correcto dimensionado del mismo, la temperatura de preparación, el nivel de aislamiento y el nivel de estratificación de temperaturas alcanzado.

En cualquier caso, siempre será necesario que exista un mecanismo de control adecuado que gestione correctamente la instalación, con el fin de reducir al máximo la entrada en funcionamiento del sistema de energía de apoyo. El sistema de control estará basado en un conjunto de sondas y/o válvulas automáticas, que en función de la temperatura del acumulador solar, de la temperatura del acumulador de caldera, y de la temperatura de uso activarán el sistema auxiliar o no.

El sistema de energía de apoyo, o sistema auxiliar, se encargará de suministrar la energía necesaria para elevar la temperatura del agua, procedente del sistema de energía solar, hasta la temperatura del acumulador de caldera que debe ser de 60°C (temperatura de suministro, que para cumplir con la norma UNE – 100.030 sobre prevención de la legionela, ha de ser siempre constante y de valor 60°C). El agua proveniente del depósito solar pasará por la caldera, solamente cuando la temperatura sea inferior a 60°C. Si el agua que llega a la caldera ya está lo suficientemente caliente, no hará falta que pase por ella circulando por el by-pass instalado.

La caldera debe ser dimensionada para garantizar el suministro de agua caliente aunque el sistema solar no aporte energía, es decir, tiene que ser capaz de cubrir toda la demanda de ACS.

La potencia necesaria a suministrar por la caldera ha sido calculada anteriormente en el punto 5.4 del presente proyecto. Se obtuvo un valor de 87,34 kW. Se ha decidido instalar una caldera de gas natural del fabricante *Saunier Duval* modelo *THERMOSYSTEM CONDENS F 120/2*, cuyas características técnicas podemos encontrarlas en el anexo IV.



Figura 6.26.- Caldera *THERMOSYSTEM CONDENS F120/2* para el sistema de energía de apoyo.

7. Estudio ambiental



La energía solar es uno de esos recursos renovables que nos regala la naturaleza a cada instante. Y lo que es igual de importante, una fuente de energía que no daña el entorno en que vivimos. El uso de dicha energía contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y aporta soluciones al constante incremento de precio y agotamiento de los combustibles fósiles.

Las principales ventajas medioambientales de la energía solar térmica de baja temperatura, aquella que utilizamos en el ámbito de la vivienda, son:

- Se trata de una energía que proviene directamente del Sol.
- No emite gases contaminantes perjudiciales para la salud.
- No emite gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.
- No produce ningún tipo de desperdicio o residuo peligroso de difícil eliminación.
- No produce efectos significativos sobre la flora y la fauna, a no ser que hagamos referencia a las instalaciones de alta temperatura, que suelen ocupar una gran extensión de terreno.
- Su impacto sobre el medio ambiente es mínimo, y de producirse alguno ocurre exclusivamente durante la fase de fabricación de los equipos.
- Este tipo de instalaciones no dejan huella ecológica cuando finaliza el periodo de explotación.
- Es una energía que no corre peligro de agotarse a medio plazo, puesto que su fuente productora es el Sol.
- No requiere costosos trabajos de extracción, transporte o almacenamiento.

Un elemento específico de la energía solar térmica, que la diferencia de otras fuentes de energía tanto convencionales como renovables, es que se genera directamente en los puntos de consumo, por lo que no requiere transporte ni creación de infraestructuras.

Además, su aplicación suele tener lugar en el entorno urbano, en el cual las emisiones contaminantes de los combustibles tradicionales tienen mayor incidencia sobre la salud humana, consiguiéndose así disminuir sensiblemente las emisiones gaseosas originadas por los sistemas convencionales de generación de agua caliente.

La energía solar también contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂, responsables del calentamiento global del planeta. Se calcula que con el uso de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria, una familia puede evitar, de media, la emisión de una tonelada de CO₂ al año. Al extrapolar estos datos a los millones de familias de todo el mundo que actualmente utilizan la energía solar térmica para producir agua caliente y calefacción, obtenemos que nuestro planeta se ahorró la emisión de más de 17 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera sólo durante el año 2004. Una contribución desde luego nada desdeñable.

Por el contrario, en el lado de los deberes de la energía solar térmica cabe destacar el impacto visual sobre el paisaje, por lo que es conveniente tener especial cuidado en su integración en el entorno, así como en su adaptación a los edificios. En este sentido, en

los últimos años se ha avanzado mucho en cuanto al trabajo y aceptación de los diseñadores de las instalaciones y arquitectos. Existen numerosos ejemplos de las numerosas posibilidades de integración de los equipos, sobre todo si la instalación se considera desde la concepción del proyecto en el que va a ir ubicada. Existe al respecto una amplia variedad de productos que permiten adaptarse mejor al entorno, y captadores que pueden instalarse en horizontal o vertical, según sea más conveniente en cada proyecto constructivo.

Para prevenir el sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto, es necesario, en casi la totalidad de los sistemas de energía solar térmica, un sistema auxiliar de energía de apoyo basado en energías “convencionales”. En nuestro caso, ese sistema de energía de apoyo consiste en una caldera de gas natural.

En el caso de nuestra instalación, habrá momentos en los que sea necesario el uso del sistema de energía de apoyo para poder cubrir la demanda energética exigida, debido a ello produciremos emisiones de CO₂ a la atmósfera, ya que la caldera utiliza como combustible gas natural. Sin embargo, en otras ocasiones la instalación solar será capaz de producir el aporte energético necesario sin la necesidad de la caldera auxiliar, produciendo energía de forma totalmente limpia.

El objetivo de este estudio de impacto ambiental es ver qué cantidad de CO₂ evitamos emitir a la atmósfera usando la instalación de paneles solares, comparándolo con el caso de que sólo usásemos una instalación habitual de gas natural.

7.1.- Ahorro de combustible.

La instalación de los colectores solares permitirá una disminución en el gasto de combustible de la caldera del sistema de energía de apoyo. El combustible empleado para calentar el agua de consumo es gas natural. Para calcular este ahorro de combustible utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q = V \cdot PCI \cdot \eta$$

donde:

Q : energía cubierta por los captadores solares [MJ].

V : volumen de combustible necesario para producir toda esa energía [m³].

PCI : poder calorífico inferior del combustible que se emplea en la instalación.
En el caso del gas natural es de 39,6 MJ/m³ (según anexo A de la norma UNE 123-001-94).

η : rendimiento de la caldera. En este caso es del 94%.

Primero tenemos que calcular la energía que nos proporciona el campo de colectores solares. Para ello, tenemos que hallar la demanda energética mensual Q' , necesaria para producir la cantidad de agua caliente sanitaria que requieren las viviendas.

$$Q' = m \cdot C_p \cdot (T_{sum} - T_{red})$$

donde:

m : masa de ACS necesaria para cada mes [kg].

C_p : calor específico del agua. $C_p = 4.180$ J/kg·K

T_{sum} : temperatura a la que debemos suministrar el agua [K].

T_{red} : temperatura media del agua de la red general [K].

La temperatura de suministro, T_{sum} , será siempre constante y de valor 60°C , para así cumplir con la norma UNE – 100.030 sobre prevención de la legionela.

La temperatura media del agua de la red general, T_{red} , varía de un mes a otro. A través del *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* podemos conocer el valor de dicha temperatura para cada mes en Santa Cruz de Tenerife (ver anexo II).

Para calcular la masa de ACS necesaria m , sabemos que:

$$m = \rho \cdot V$$

donde:

ρ : densidad del agua. $\rho = 1.000$ kg/m³.

V : demanda mensual de ACS (véase tabla 5).

Conocida la demanda energética mensual necesaria y sabiendo la fracción solar que hay para cada mes del año, podemos calcular la energía cubierta por los captadores solares.

	Demanda de ACS [m³]	Masa de ACS [kg]	T_{red} [K]	Fracción solar (f)	Q [MJ]
Enero	127,179	127.179,360	281	0,725	20.041,687
Febrero	111,767	111.767,040	282	0,719	17.131,252
Marzo	117,670	117.669,552	284	0,708	17.063,563
Abril	120,859	120.859,200	286	0,696	16.525,823
Mayo	119,159	119.159,040	287	0,689	15.786,299
Junio	110,880	110.880,000	288	0,682	14.224,152
Julio	103,118	103.118,400	289	0,675	12.801,737
Agosto	81,349	81.348,960	288	0,682	10.435,786
Septiembre	100,901	100.900,800	287	0,689	13.367,431
Octubre	111,139	111.138,720	286	0,696	15.196,682
Noviembre	113,098	113.097,600	284	0,708	16.400,573
Diciembre	123,169	123.169,200	281	0,725	19.409,742
TOTAL					188.384,725

Tabla 38.- *Energía cubierta por los captadores solares.*

Una vez conocida la energía que son capaces de suministrar los paneles solares, podemos calcular la cantidad de combustible que nos ahorramos anualmente gracias al aprovechamiento de la energía solar.

	Volumen combustible [m³]
Enero	538,408
Febrero	460,221
Marzo	458,402
Abril	443,956
Mayo	424,089
Junio	382,123
Julio	343,911
Agosto	280,351
Septiembre	359,108
Octubre	408,250
Noviembre	440,591
Diciembre	521,431
TOTAL	5.060,840

Tabla 39.- *Ahorro de combustible.*

En la *Tabla 39* podemos ver los metros cúbicos de combustible ahorrados en cada mes gracias a la instalación solar térmica instalada. Somos capaces de ahorrar un total de **5.061 m³** de gas natural por año. Un ahorro que nos favorece tanto económicamente como medioambientalmente.

7.2.- Reducción de emisiones de CO₂.

Una de las consecuencias de dejar de quemar un cierto volumen de combustible, es que se dejan de emitir los correspondientes productos generados en su combustión.

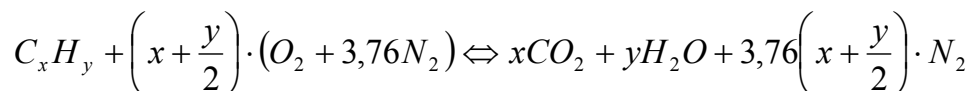
Uno de esos productos es el CO₂, uno de los gases denominados de “efecto invernadero”. Este tipo de gases deja pasar la radiación procedente del sol (de longitud de onda corta) pero no dejan que la radiación emitida por la tierra (de longitud de onda más larga) vuelva al espacio. Esto produce un aumento de la temperatura en la atmósfera y es el denominado “efecto invernadero”.

Para calcular la cantidad de CO₂ que vamos a dejar de emitir a la atmósfera con el aprovechamiento de la energía solar necesitamos conocer, en primer lugar, la composición del gas natural. Éste, está compuesto por:

- 91,4% de metano (CH₄).
- 7,2% de etano (C₂H₆).
- 0,8% de hidrocarburos superiores.
- 0,6% de nitrógeno (N₂).

Estas expresiones están expresadas en % de volumen. Al desconocer la composición de los hidrocarburos superiores, se supondrá que es propano (C₃H₈).

A continuación se considerará que la combustión del gas natural con aire es una reacción estequiométrica, por tanto, la cantidad de aire es la necesaria para quemar completamente el combustible y los únicos productos que se forman son CO₂, H₂O y N₂.



En esta reacción x e y están expresados en moles.

Como la composición del gas natural está expresada en % en volumen, necesitamos pasarla a moles aplicando la ecuación de estado de los gases ideales.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde:

P : presión en condiciones normales. Es igual a 101.325 Pa (1atm).

V : volumen total del gas. Supondremos 1 m³.

n : número de moles.

R : constante de los gases ideales. $R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

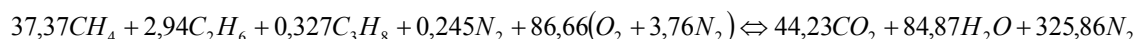
T : temperatura en condiciones normales. $T = 298\text{K}$ (25°C).

Obteniendo un número de moles totales de $n = 40,89$. Una vez obtenido el número de moles totales de 1m³ de gas, basta con multiplicar este valor por los correspondientes

tantos por ciento de los componentes para hallar sus moles, ya que la proporción en volumen es la misma que en moles:

- 37,37 moles de metano (CH_4).
- 2,94 moles de etano (C_2H_6).
- 0,327 moles de propano (C_3H_8).
- 0,245 moles de nitrógeno (N_2).

La ecuación estequiométrica expresada en moles queda de la siguiente manera:



De esta manera obtenemos el número de moles de CO_2 producidos en la combustión por un m^3 de gas natural. Vemos que por cada metro cúbico de gas natural se producen 44,23 moles de CO_2 .

Para determinar la masa en kilogramos correspondiente a los 44,23 moles de CO_2 , tenemos que:

$$n = \frac{m}{P_m}$$

donde:

m : cantidad de masa [g].

P_m : peso molecular. $\text{CO}_2 = 44$ g.

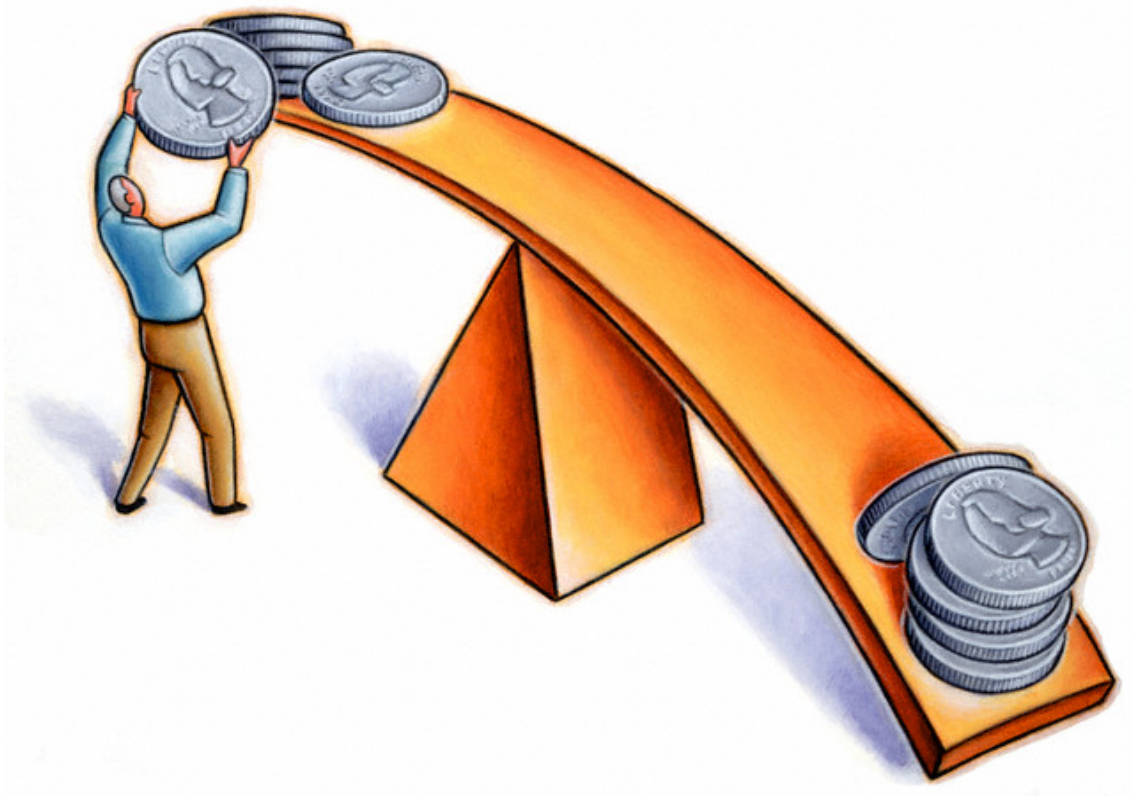
Se obtiene que la masa de CO_2 por metro cúbico de gas natural es de 1,946 kg. Una vez conocido este dato y sabiendo el volumen de combustible que nos ahorramos, podemos hallar las emisiones de CO_2 que hemos evitado emitir gracias a la instalación solar térmica.

	Emisiones de CO_2 evitadas [kg]
Enero	1.047,741
Febrero	895,589
Marzo	892,051
Abril	863,939
Mayo	825,278
Junio	743,612
Julio	669,250
Agosto	545,563
Septiembre	698,824
Octubre	794,454
Noviembre	857,391
Diciembre	1.014,704
TOTAL	9.848,396

Tabla 40.- Reducción de emisiones de CO_2 .

La cantidad total de emisiones de CO_2 evitadas es de **9.849 kg al año**.

8. Estudio económico



Durante los últimos años las instalaciones de energía solar térmica no han experimentado una alteración sustancial de precios, ni es previsible que lo hagan en los próximos años. Las posibles rebajas en este tipo de instalaciones pueden venir motivadas por las mejoras en el proceso de fabricación de los captadores solares, o por una disminución de los precios de venta al público como consecuencia del crecimiento de mercado.

El coste de implantación de la energía solar térmica es variable en función de múltiples factores, como pueden ser el tipo de aplicación (piscinas, agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración...), el tamaño de la instalación, la tecnología utilizada (captadores planos o de vacío) o si la instalación se realiza a la vez que la construcción del edificio o se trata de una vivienda edificada. Todos estos factores influyen en el coste final de una instalación.

En este proyecto nos centraremos en el coste de la energía solar de baja temperatura para el suministro de agua caliente sanitaria: la aplicación más extendida en todo el mundo y la que cuenta con mayor potencial a corto plazo.

La energía proviene del Sol; por lo tanto, lo que supone un desembolso extraordinario es la adquisición y montaje de la instalación para la producción de agua caliente sanitaria en una vivienda, hotel... No obstante, esta inversión se compensará con creces en pocos años, al sustituir una energía convencional por otra mucho más económica. Desde el mismo momento en que pongamos en marcha nuestra instalación solar, la factura del gas destinada a la producción de agua caliente sanitaria bajará.

Otra de las ventajas de la energía solar es que esta tecnología nos ayudará a disminuir nuestra dependencia energética del exterior que, al fin y al cabo, es un buen método de garantizar el suministro de energía con total autonomía. Además, hay que tener en cuenta que esta fuente de energía no está sujeta a fluctuaciones de mercado y que los precios no oscilan en relación al coste de la vida, o cualquier otra circunstancia.

Por todas estas razones, hoy por hoy podemos decir que una instalación solar térmica cuenta con grandes ventajas frente a otros sistemas de abastecimiento y es plenamente rentable en términos económicos. Por si fuera poco, también hay que añadir que sus usuarios pueden acceder a unas buenas condiciones de financiación y a ayudas a fondo perdido de las diferentes administraciones.

Existe la falsa creencia de que la energía solar no sería rentable sin las ayudas que ofrece el Estado, las comunidades autónomas, o algunas corporaciones locales. En la actualidad todas las fuentes de energía, tanto las renovables como las tradicionales, están subvencionadas de una u otra forma. Y es que pocas veces se tienen en cuenta los costes externos asociados a las energías convencionales o su impacto ambiental, que tarde o temprano acabamos pagando todos; ya sea a través de gastos en la salud, en compras de derechos de emisiones contaminantes o en desastres ambientales de muy diversa índole.

8.1.- Presupuesto.

CANTIDAD	CONCEPTO	COSTE UNITARIO (€)	COSTE TOTAL (€)
20	Colector solar plano <i>HR 2.02 4V</i>	612	12.240
4	Soporte para montaje en tejado inclinado con tipo de teja estándar para una batería de 5 colectores	734	2.936
4	Doble T sonda - purgador	44	176
4	Purgador de aire automático	170	680
41 m	Tubería de cobre 13 mm, que incluye instalación, montaje y parte proporcional de accesorios	6,4 €/m	262,40
190 m	Tubería de cobre 19 mm, que incluye instalación, montaje y parte proporcional de accesorios	7,80 €/m	148,20
2 m	Tubería de cobre 26 mm, que incluye instalación, montaje y parte proporcional de accesorios	9,20 €/m	18,40
17 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 27 mm para D = 19 mm	3,38 €/m	57,46
41 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 27 mm para D = 13 mm	2,79 €/m	114,39
173 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 27 mm para D = 19 mm	3,38 €/m	584,74
2 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 19 mm para D = 26 mm	7,20 €/m	14,40
1	Vaso de expansión <i>80 CMF</i>	320	320
1	Intercambiador de calor <i>CB - 52</i>	760	760
1	Bomba circulación <i>magna 50 – 120F</i>	1.145	1.145
1	Acumulador de ACS <i>Saunier Duval BDLE 3.000 L</i> de acero vitrificado con revestimiento epóxico	4.762	4.762
1	Acumulador de ACS <i>Saunier Duval BDLE 3.500 L</i> de acero vitrificado con revestimiento epóxico	5.651	5.651
1	Bomba circulación <i>alpha pro 20-60</i>	235	235
1	Caldera <i>THERMOSYSTEM CONDENS F 120/2</i> para el sistema de energía de apoyo	8.395	8.395
480 m	Tubería de polipropileno <i>fusiotherm</i> 50 x 6,9 mm en barras de 4 m	2,17 €/m	1.043,48
8 m	Tubería de polipropileno <i>fusiotherm</i> 90 x 12,3 mm en barras de 4 m	2,68 €/m	21,47
283 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 19 mm para D = 50 mm	6,26 €/m	1.771,58
197 m	Coquilla <i>S/H Armaflex</i> e = 27 mm para D = 50 mm	9,00 €/m	1.773

8 m	Coquilla S/H Armaflex e = 27 mm para D = 90 mm	12,55 €/m	100,40
3	Válvula de seguridad	6,48	19,44
4	Válvula de vaciado	9,70	38,80
1	Válvula de llenado	13,55	13,55
1	Termostato diferencial, incluye sondas de temperatura	240	240
4	Válvula de paso	3,45	13,8
8	Válvula antirretorno	4,25	34
1	Grupo de llenado <i>Saunier Duval</i>	546	546
1	Trabajo ingeniero proyectista	2.000	2.000
		TOTAL	46.115,51

Tabla 41.- Presupuesto de la instalación solar térmica.

El Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) proporciona una inversión del 30% a fondo perdido del coste total de la instalación; por tanto, el presupuesto final de la instalación solar térmica será de **32.281 €**.

Esta línea de financiación, se enmarca entre las actuaciones previstas por el *Plan de Fomento de las Energías Renovables 2.000 – 2.010*, cuyo objetivo es lograr, en el año 2.010 que el 12% del consumo de energía primaria en España proceda de fuentes de energías renovables.

8.2.- Periodo de amortización.

La vida media de una instalación de energía solar térmica es de unos veinticinco años, aunque actualmente se tiende a diseñar equipos con una duración de treinta años de vida útil.

El plazo habitual de amortización está entre los diez y los quince años. De esta manera, si tenemos en cuenta que la vida útil de la instalación supera los 25 años, se puede decir que tendremos agua caliente de forma gratuita durante mucho tiempo.

El periodo de amortización es el tiempo que tardaríamos en recuperar el gasto realizado. En nuestro caso, el gasto realizado será la diferencia de coste entre la instalación solar y una instalación convencional de ACS.

Para poder calcular el periodo de amortización necesitamos conocer el ahorro anual que supone la utilización de la energía solar. Para ello tenemos que calcular primero la energía solar útil.

	Energía solar [MJ]	Energía solar [kW·h_{calor}]
Enero	20.041,69	5.567,14
Febrero	17.131,25	4.758,68
Marzo	17.063,56	4.739,88
Abril	16.525,82	4.590,51
Mayo	15.786,30	4.385,08
Junio	14.224,15	3.951,15
Julio	12.801,74	3.556,04
Agosto	10.435,79	2.898,83
Septiembre	13.367,43	3.713,18
Octubre	15.196,68	4.221,30
Noviembre	16.400,57	4.555,71
Diciembre	19.409,74	5.391,59
TOTAL	188.384,73	52.329,09

Tabla 42.- *Energía útil producida en kW·h_{calor} por la instalación solar.*

Una vez conocida la energía solar útil, lo segundo que necesitamos conocer es la tarifa de gas natural para instalaciones cuyo consumo sea superior a 50.000 kW·h_{GN}/año e inferior a 100.000 kW·h_{GN}/año. Esta tarifa tiene un término fijo de 42,31 €/mes y un término variable de 0,033259 €/ kW·h_{GN} (tarifa fijada por la *Comisión Nacional de Energía (CNE)*).

Un término fijo es el importe correspondiente a la disponibilidad continua de servicio. Viene determinado por el tipo de tarifa que ha contratado. Un término variable es el importe correspondiente al gas natural consumido durante el periodo de facturación.

Hay que distinguir entre kW·h_{GN} y kW·h_{calor} ya que entra en juego el rendimiento de la caldera de la siguiente manera:

$$\eta_{caldera} = \frac{kW \cdot h_{calor}}{kW \cdot h_{GN}} = 0,94$$

Por lo tanto, vemos como los 52.329,09 kW·h_{calor} que nos proporciona la instalación solar, son iguales a 55.669,24 kW·h_{GN}. Con esto, obtenemos un término fijo anual de 507,72 € y un término variable de 1.851,50 €.

Por tanto el ahorro anual gracias a la instalación de los paneles solares es de 2.736,70 € (i.v.a. incluido).

El siguiente paso es aplicar un método de evaluación de inversiones. Éste será el del Valor Actual Neto (VAN):

$$VAN = -I_o + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

donde:

I_o : inversión inicial.

F_n : flujo de caja en el año n , es decir el ahorro anual.

i : tipo de descuento, que es la diferencia entre la tasa anual por disponer de capital ajeno (intereses) y la tasa de aumento en el tiempo del valor medio de bienes y servicios (inflación).

n : número de años previstos para amortizar la inversión.

Para que la inversión sea rentable, el VAN tiene que ser positivo; es decir, para conocer el número de años que necesitamos para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n . Como no se puede despejar n , el cálculo se realizará de manera iterativa hasta que salga igual a cero o positiva.

Para el cálculo del tipo de descuento i , se ha estimado un interés bajo las condiciones de financiación que ofrece el *Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE)* para los proyectos de energía solar térmica de 2 puntos de bonificación sobre el índice EURIBOR (en la actualidad 2,29%) y una inflación del 2,5%.

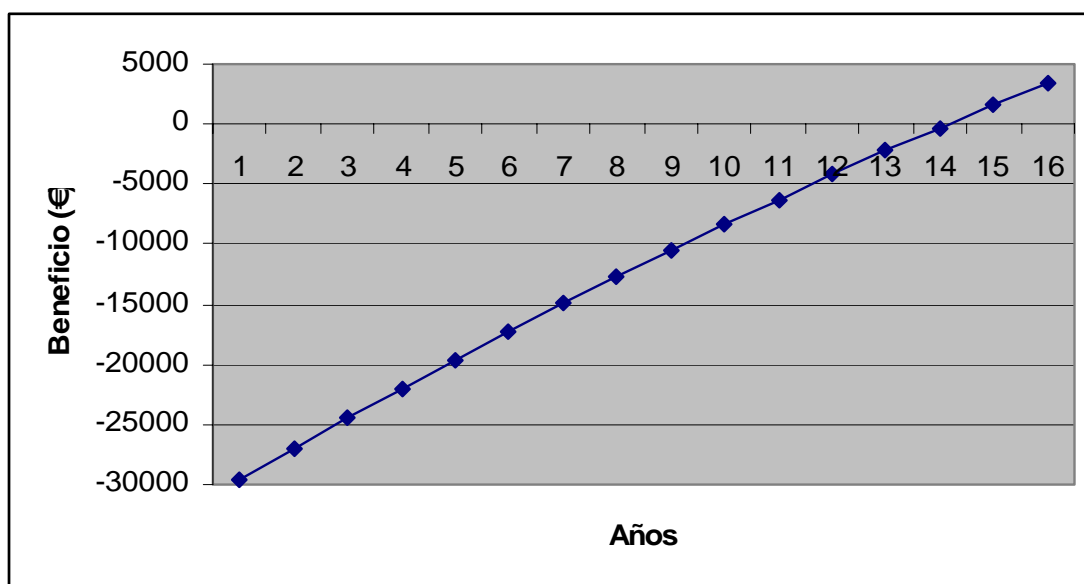
En la *Tabla 43* podemos ver como evoluciona el valor del VAN año a año.

AÑO	BENEFICIO (€)
1	-29611
2	-27006
3	-24465
4	-21986
5	-19567
6	-17207
7	-14905
8	-12658
9	-10467
10	-8329

11	-6243
12	-4209
13	-2223
14	-286
15	1603

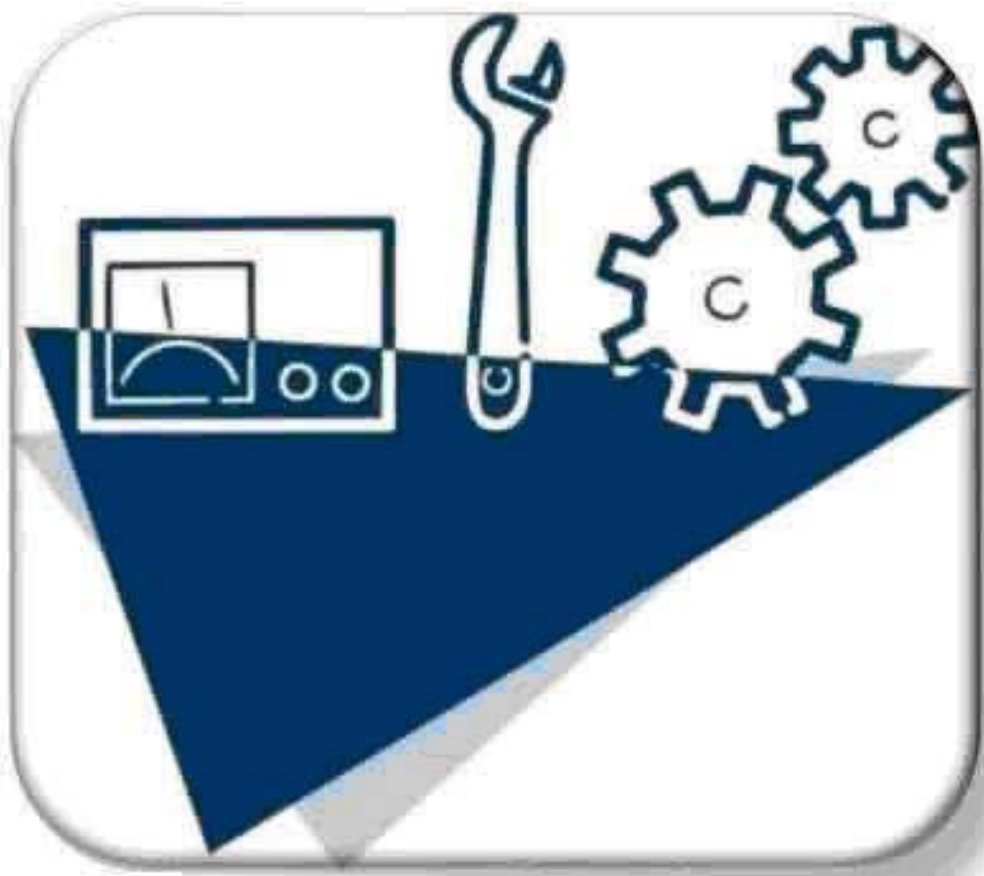
Tabla 43.- *Beneficio anual.*

El periodo de amortización obtenido para nuestra instalación es aproximadamente de **15 años**. A partir de ese año empezaremos a obtener beneficios económicos de nuestra instalación en comparación con la instalación clásica que obtiene energía de quemar gas natural en la caldera.

Figura 8.1.- *Periodo de amortización.*

Respecto a los costes de operación y mantenimiento, una instalación solar bien diseñada y correctamente instalada no tiene por qué ocasionar problemas al usuario. De hecho, las labores de mantenimiento que son necesarias realizar, tienen un alcance parecido a las de cualquier otro tipo de sistemas de calefacción o de agua caliente sanitaria de fuentes convencionales.

9. Mantenimiento



Según el *Código Técnico de la Edificación* en su sección HE-4 “*contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*”, en cuanto al mantenimiento de una instalación solar térmica dice: Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- Plan de vigilancia.
- Plan de mantenimiento preventivo.

9.1.- Plan de vigilancia.

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Tendrá el alcance descrito en la *Tabla 44*.

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas.
	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
CIRCUITO PRIMARIO	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
CIRCUITO SECUNDARIO	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

Tabla 44.- *Plan de vigilancia.*

9.2.- Plan de mantenimiento.

- 1) Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
- 2) El mantenimiento implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².
- 3) El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

- 4) El mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
- 5) A continuación se desarrollan de forma detallada las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original.
Cristales	6	IV diferencias entre captadores.
Juntas	6	IV condensaciones y suciedad
Absorbedor	6	IV agrietamientos, deformaciones
Carcasa	6	IV corrosión, deformaciones
Conexiones	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Estructura	6	IV aparición de fugas
Captadores*	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de captadores

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.1.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

Tabla 45.- Sistema de captación.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Tabla 46.- Sistema de acumulación.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 47.- Sistema de intercambio.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

⁽¹⁾ IV: inspección visual

⁽²⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 48.- Circuito hidráulico.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 49.- Sistema eléctrico y de control.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Nota: Para las instalaciones menores de 20 m² se realizarán conjuntamente en la inspección anual las labores del plan de mantenimiento que tienen una frecuencia de 6 y 12 meses.

No se incluyen los trabajos propios del mantenimiento del sistema auxiliar.

Tabla. 50- Sistema de energía auxiliar.

10. Conclusiones



A la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que el cálculo de las resistencias térmicas que hay en el captador solar se hace necesario para poder hallar las pérdidas que se producen en éste debidas a ellas y de esta manera poder mejorar las condiciones de trabajo del panel predichas por la curva de normalización.

Existen dos normativas para calcular la curva de normalización de los colectores, en USA la *ASHARE 93* y en Europa la *EN 12975-2*. La primera utiliza un modelo estacionario, sin tener en cuenta las pérdidas por viento y la segunda uno quasi-estacionario con la posibilidad de utilizar datos con velocidades de viento comprendidas entre 1 y 4 m/s. Comparando experimentalmente los resultados de ambas normativas, se llega a la conclusión de que se obtienen valores similares de rendimiento, siendo no obstante menores los obtenidos por la norma europea al poderse ensayar el colector con viento.

A pesar de que con la normativa *EN 12975-2* se permite contabilizar el efecto del viento, únicamente se realizan con viento el 38% de los ensayos. El hecho de que existan ensayos con viento y otros sin viento producirá diferencias entre la actuación de los captadores en condiciones reales y las predichas por la curva de normalización. Procede por tanto evaluar cómo se modifican las prestaciones de los colectores en función de valores locales de la velocidad y dirección del viento. Así como de las pérdidas térmicas inherentes al colector que se producen.

Si nos fijamos en los valores de las resistencias térmicas calculadas, vemos que las más significativas son:

- La resistencia de radicación en el interior del captador solar. Con una resistencia elevada conseguimos favorecer el “efecto invernadero” que se produce en el interior del colector, aumentando la transferencia de calor al fluido caloportador.
- La resistencia de conducción del aislante. Nos interesa que esta sea elevada para evitar la pérdida de carga calorífica.
- La resistencia de convección en la parte superior del colector. Esta es la que más influye en el comportamiento del colector, porque debida a ella se producen las mayores pérdidas de energía debidas al efecto que tiene la velocidad y dirección del viento sobre el captador.

La energía solar es uno de esos recursos renovables que nos regala la naturaleza a cada instante. Y lo que es igual de importante, una fuente de energía que no daña el entorno en que vivimos. El uso de dicha energía contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y aporta soluciones al constante incremento de precio y agotamiento de los combustibles fósiles.

Para prevenir el sufrir restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto, es necesario la utilización de un sistema de apoyo de energía auxiliar basado en una caldera de gas natural. Debido a esta circunstancia, se hace necesario el estudio ambiental que se ha realizado en el presente Proyecto: calcular la cantidad de emisiones de CO₂ que

evitamos emitir a la atmósfera si, en lugar de tener la instalación solar térmica, tuviéramos una instalación habitual de gas natural.

Si observamos los resultados del estudio de impacto ambiental, vemos como con la inclusión de la instalación solar logramos evitar emitir aproximadamente 10 toneladas de CO₂ al año, cifra desde luego nada desdeñable. Como podemos ver este tipo de tecnologías colabora en la reducción de emisiones a la atmósfera pero hay que seguir desarrollándolas, ya que la demanda energética del mundo actual es muy alta y hay que dar respuesta a estas necesidades.

Respecto a los resultados económicos obtenidos, vemos que para amortizar una instalación solar térmica de este tipo se necesitamos unos 15 años. Este periodo de amortización a medio plazo, se antoja algo elevado si nos fijamos en la inversión realizada: 32.281€ a repartir entre 28 viviendas, y más aún teniendo en cuenta las subvenciones facilitadas por el IDAE. Pero teniendo en cuenta que la vida útil de una instalación solar térmica es de unos 25 años aproximadamente (con buenos componentes hasta 30), este tipo de instalaciones son bienes económicos de gran valor.

Todo esto nos hace pensar que la energía solar no sería rentable sin las ayudas que ofrecen el Estado, las comunidades autónomas, o algunas corporaciones locales. En la actualidad todas las fuentes de energía, tanto las renovables como las tradicionales, están subvencionadas de una u otra forma. Y es que pocas veces se tienen en cuenta los costes externos asociados a las energías convencionales o su impacto ambiental, que tarde o temprano acabamos pagando todos; ya sea a través de gastos en la salud, en compras de derechos de emisiones contaminantes o en desastres ambientales de muy diversa índole.

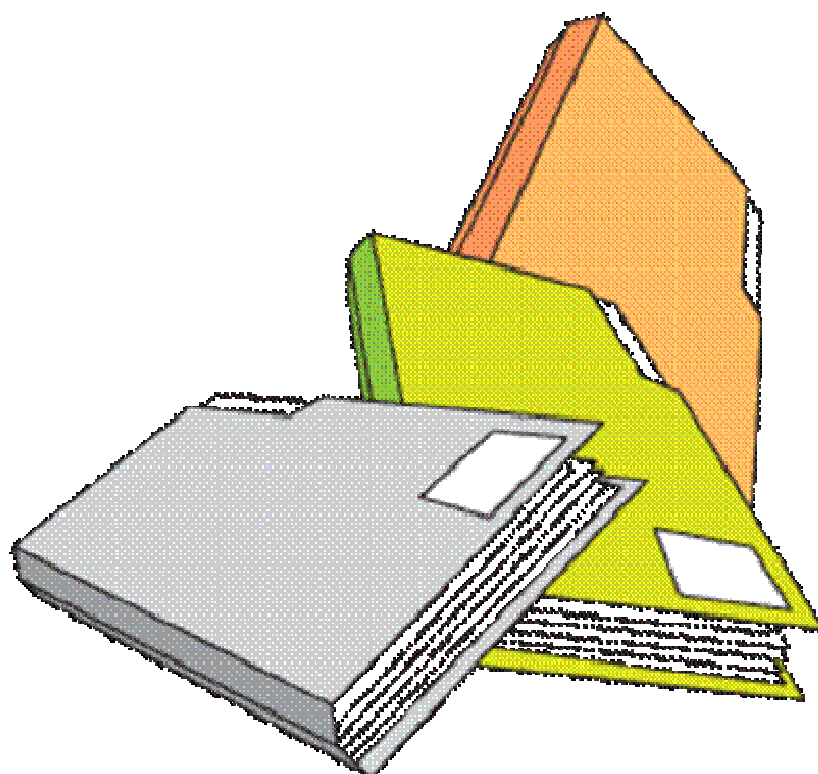
Lo único que se pretende actualmente es promover el uso de esta fuente de energía mediante ayudas públicas que la hagan aún más atractiva. No olvidemos que el fomento de las energías renovables figura entre los objetivos primordiales de la política energética de nuestro país y de la Unión Europea. ¿La razón? Las ventajas en materia de medio ambiente y la necesidad de diversificar nuestras fuentes de energía ante posibles crisis de suministro.

11. Bibliografía



- [1] Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [2] “Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura”. IDAE e INTA. 2.002.
- [3] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Complementarias (ITE).
- [4] Documento Técnico de Instalaciones en la edificación: DTIE 1.01. “Preparación de agua caliente para usos sanitarios”.
- [5] Documento Técnico de Instalaciones en la edificación: DTIE 8.03. “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria”
- [6] “Fundamentos de transferencia de calor”. Frank P. Incropera & David P. DeWitt (cuarta edición).
- [7] “Solar. Technologies for buildings”. Ursula Eicker.
- [8] Apuntes de la asignatura “Ingeniería térmica I”.
- [9] Apuntes de la asignatura “Ingeniería fluidomecánica”
- [10] Apuntes de la asignatura “Energías renovables”.
- [11] Apuntes de la asignatura “Nuevas Fuentes de Energía”.
- [12] Apuntes de la asignatura “Análisis de estados económicos – financieros y de costes”.
- [13] “Mecánica de fluidos”. Frank M. White.
- [14] “Energía solar en España 2.007. Estado actual y perspectivas”. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid 2.007.
- [15] Páginas web:
 - www.solarenergy.ch
 - www.censolar.com
 - www.aemet.es
 - www.cne.es
 - www.idae.com
 - www.grundfos.com
 - www.saunierduval.es
 - www.alfalaval.com
 - www.armaflex.com
 - www.salvadorescoda.com
 - www.honeywell.com
 - www.aquatherm.es

12. Anexos



Anexo I.- Índice de figuras y tablas.

Figura 2.1.- Fuentes de energía	10
Figura 2.2.- Balance energético del planeta tierra (TW)	11
Figura 2.3.- El sol	12
Figura 2.4.- Influencia de las estaciones del año sobre la energía solar recibida en la superficie de la tierra	13
Figura 2.5.- Mapa de España. La cifra superior representa la energía en kWh que incide por m ² . En la inferior en número de horas de sol al año	15
Figura 2.6.- Distribución de la radiación solar que llega a la superficie terrestre (kcal/(cm ² /año)).....	16
Figura 2.7.- Radiación solar anual en Europa (kWh/m ²)	18
Figura 2.8.- Superficie acumulada instalada en la Unión Europea (año 2.005)	18
Figura 2.9.- Superficie instalada en España en el periodo 1.978 -1.995	20
Figura 2.10.- Superficie total instalada de energía solar térmica en España desde 1.990 a 2.002	21
Figura 2.11.- Evolución de la superficie instalada en España	22
Figura 2.12.- Distribución de la superficie de energía solar térmica en España por captadores instalados a finales de 2.005	23
Figura 2.13.- Distribución de la superficie de energía solar térmica en España para captadores instalados a finales de 2.006	23
Figura 2.14.- Ahorro de emisiones de CO ₂ con el uso de una instalación solar para ACS	25
Figura 2.15.- Casa típica de la antigua Grecia	27
Figura 2.16.- Casa con arquitectura bioclimática	29
Figura 2.17.- Arquitectura bioclimática	29
Figura 2.18.- Vivienda con un sistema de energía solar para la producción de ACS	31
Figura 2.19.- Vivienda con sistema de calefacción de suelo radiante mediante energía solar	33
Figura 2.20.- Climatización de piscina a través de un sistema de ACS	33
Figura 2.21.- Ciclo de absorción	35
Figura 2.22.- Esquema de un refrigerador solar por absorción	35
Figura 2.23.- Evolución prevista de la superficie para cumplir los objetivos del PER	41
Figura 2.24.- Objetivos de la energía solar térmica para el año 2.010 en España ..	43
Figura 2.25.- Ordenanzas municipales en España	44
Figura 3.1.- Pérdidas que se producen en un colector plano	47
Figura 3.2.- Vivienda con instalación solar térmica para el suministro de ACS ...	49
Figura 3.3.- Vivienda con un sistema de captadores solares compacto	51
Figura 3.4.- Vivienda con paneles solares térmicos para la producción de ACS, calefacción y climatización de piscina	53
Figura 3.5.- Esquema de un sistema para la producción de ACS	54
Figura 3.6.- Sistemas de funcionamiento de una instalación solar	55
Figura 3.7.- Principio de funcionamiento del captador solar	56
Figura 3.8.- Vista seccionada de un colector plano	57
Figura 3.9.- Esquema de un colector plano típico	57
Figura 3.10.- Captador solar plano	58
Figura 3.11.- Curva de rendimiento de un colector plano	59
Figura 3.12.- Esquema de un colector solar de vacío	60

Figura 3.13.- Panel solar formado por captadores de vacío	60
Figura 3.14.- Tanque de almacenamiento típico	61
Figura 3.15.- Sistema de producción de ACS con el intercambiador de calor alojado en el interior del tanque de almacenamiento	64
Figura 3.16.- Esquema de una instalación solar de circuito abierto	69
Figura 3.17.- Esquema de una instalación solar de circuito cerrado	69
Figura 3.18.- Esquema de una instalación solar de circulación forzada	70
Figura 3.19.- Esquema de una instalación solar de circulación normal o termosifón	70
Figura 4.1.- Temperatura media de algunas instalaciones y su efecto sobre la legionela	76
Figura 5.1.- Variación media del consumo mensual de viviendas	83
Figura 5.2.- Variación del consumo según la hora del día en viviendas (día de la semana como parámetro)	87
Figura 5.3.- Variación del caudal instantáneo en un edificio de viviendas en un día laboral	90
Figura 5.4.- Relación entre producción y consumo de ACS a lo largo de un día laboral	90
Figura 5.5.- Curva de distribución de caudales	91
Figura 5.6.- Esquema de resistencias térmicas del colector	96
Figura 5.7.- Esquema de la rama útil entre la placa absorbadora y el agua	100
Figura 5.8.- Esquema de la instalación	113
Figura 5.9.- Zonas climáticas de España	117
Figura 5.10.- Temperatura del tanque según el grado de estratificación	119
Figura 6.1.- Esquema general de la instalación solar para el suministro de ACS ...	126
Figura 6.2.- Esquema del circuito primario	127
Figura 6.3.- Esquema de un colector solar de placa plana	128
Figura 6.4.- Corte transversal de un colector solar de placa plana	131
Figura 6.5.- Sección transversal del colector solar <i>HR 2.02 4V</i>	132
Figura 6.6.- Conexión de los colectores en paralelo	134
Figura 6.7.- Caudal que circula por el circuito primario	137
Figura 6.8.- Tramos del circuito primario	138
Figura 6.9.- Pérdida por rozamiento (mm c.a. por m) para tubería de cobre	139
Figura 6.10.- Coquilla <i>SH/Armaflex</i>	141
Figura 6.11.- Bomba de circulación <i>GRUNDFOS, magna 50 -120 F</i>	142
Figura 6.12.- Esquema de las diferentes válvulas del electrocirculador	142
Figura 6.13.- Funcionamiento de un depósito de expansión cerrado en caliente (izquierda) y en frío (derecha)	144
Figura 6.14.- Vaso de expansión <i>80 CMF</i>	149
Figura 6.15.- Intercambiador de calor de placas planas	150
Figura 6.16.- Distribución de temperaturas de ambos fluidos en función de la longitud del canal	151
Figura 6.17.- Intercambiador de calor de la gama <i>CB 14 – 77</i> de <i>ALFA LAVAL</i> ...	155
Figura 6.18.- Purgador de aire <i>HONEYWELL E 121</i>	156
Figura 6.19.- Válvula de seguridad <i>HONEYWELL SM 120</i>	156
Figura 6.20.- Válvula antirretorno de clapeta	157
Figura 6.21.- Sección de una válvula de paso de bola	158
Figura 6.22.- Termostato diferencial <i>HONEYWELL DTC 100/2</i>	159
Figura 6.23.- Esquema del circuito secundario	160
Figura 6.24.- Caudal que circula por el circuito secundario	165

Figura 6.25.- Bomba de circulación GRUNDFOS, <i>alpha pro 20-60</i>	166
Figura 6.26.- Caldera <i>THERMOSYSTEM CONDENS F 120/2</i> para el sistema de energía de apoyo	168
Figura 8.1.- Periodo de amortización	182

Tabla 1.- Cálculo del número de personas por vivienda	81
Tabla 2.- Demanda de referencia a 60°C	82
Tabla 3.- Caudal diario de ACS y gasto másico de ACS para cada mes del año ...	84
Tabla 4.- Potencia calorífica mensual de ACS demandada	85
Tabla 5.- Demanda mensual de ACS	86
Tabla 6.- Coeficientes multiplicadores para viviendas no estándar	88
Tabla 7.- Valores del factor de mezcla	92
Tabla 8.- Factor de corrección para superficies inclinadas para cada mes	99
Tabla 9.- Radiación recibida por el captador en la inclinación determinada	99
Tabla 10.- Temperaturas del proceso	101
Tabla 11.- Resistencias térmicas de conducción	102
Tabla 12.- Resistencias térmicas de radiación	103
Tabla 13.- Propiedades de la capa de aire interior en el colector para cada mes del año	105
Tabla 14.- Resistencia de convección natural en el aire interior del captador solar	105
Tabla 15.- Propiedades del agua que circula por los tubos para cada mes del año .	106
Tabla 16.- Resistencia de convección del agua en el interior de los tubos de cobre del colector	107
Tabla 17.- Velocidad y dirección del viento mensual	108
Tabla 18.- Propiedades del aire a la temperatura ambiente media durante las horas de sol	108
Tabla 19.- Coeficiente de flujo convectivo para el aire en el exterior del colector solar	109
Tabla 20.- Resistencias de convección forzada debidas al efecto del viento en el exterior del colector	110
Tabla 21.- Coeficientes globales de transferencia de calor	112
Tabla 22.- Pérdidas en el colector solar	112
Tabla 23.- Contribución solar mínima en %	117
Tabla 24.- Solución del sistema de ecuaciones	119
Tabla 25.- Energía solar aportada por 38 m ² de colectores solares	122
Tabla 26.- Energía solar aportada por 39 m ² de colectores solares	122
Tabla 27.- Energía solar aportada por 40 m ² de colectores solares	123
Tabla 28.- Fracción solar mensual	124
Tabla 29.- Características de los tubos de cobre comprendidas en la norma UNE 37.141 – 76	136
Tabla 30.- Caudales y diámetros para $v = 0,845$ m/s	137
Tabla 31.- Diámetros normalizados de las tuberías y velocidad real del fluido	137
Tabla 32.- Pérdidas por rozamiento en las conducciones del circuito primario	139
Tabla 33.- Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios	140
Tabla 34.- Volumen contenido en las conducciones del circuito primario	145
Tabla 35.- Propiedades del agua que circula por el intercambiador	152
Tabla 36.- Iteraciones para el dimensionado del intercambiador de calor	154
Tabla 37.- Parámetros para calcular el factor de fricción	155
Tabla 38.- Energía cubierta por los captadores solares	173
Tabla 39.- Ahorro de combustible	173
Tabla 40.- Reducción de emisiones de CO ₂	175
Tabla 41.- Presupuesto de la instalación solar térmica	179
Tabla 42.- Energía útil producida en kWh _{calor} por la instalación solar	180
Tabla 43.- Beneficio anual	182

Tabla 44.- Plan de vigilancia	184
Tabla 45.- Sistema de captación	185
Tabla 46.- Sistema de acumulación	185
Tabla 47.- Sistema de intercambio	185
Tabla 48 .- Circuito hidráulico	185
Tabla 49.- Sistema eléctrico y de control	186
Tabla 50.- Sistema de energía de apoyo	186

Anexo II.- Tablas CENSOLAR.*Temperatura media del agua de la red general, en °C. (Fuente: CENSOLAR).*

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	7	7	11	12	15	19	21	21	19	15	10	7	13,7
2 ALBACETE	6	8	11	13	17	22	26	26	22	16	11	7	15,4
3 ALICANTE	13	14	16	18	21	25	28	28	26	21	17	14	20,1
4 ALMERÍA	15	15	16	18	21	24	27	28	26	22	18	16	20,5
5 ASTURIAS	9	10	11	12	15	18	20	20	19	16	12	10	14,3
6 ÁVILA	4	5	8	11	14	18	22	22	18	13	8	5	12,3
7 BADAJOZ	11	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18,9
8 BALEARES	12	13	14	17	19	23	26	27	25	20	16	14	18,8
9 BARCELONA	11	12	14	17	20	24	26	26	24	20	16	12	18,5
10 BURGOS	5	6	9	11	14	18	21	21	18	13	9	5	12,5
11 CÁCERES	10	11	14	16	19	25	28	28	25	19	14	10	18,3
12 CÁDIZ	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	20,3
13 CANTABRIA	11	11	14	14	16	19	21	21	20	17	14	12	15,8
14 CASTELLÓN	13	13	15	17	20	24	26	27	25	21	16	13	19,2
15 CEUTA	15	15	16	17	19	23	25	26	24	21	18	16	19,6
16 CIUDAD REAL	7	9	12	15	18	23	28	27	20	17	11	8	16,3
17 CÓRDOBA	11	13	16	18	21	26	30	30	26	21	16	12	20
18 LA CORUÑA	12	12	14	14	16	19	20	21	20	17	14	12	15,9
19 CUENCA	5	6	9	12	15	20	24	23	20	14	9	6	13,6
20 GERONA	9	10	13	15	19	23	26	25	23	18	13	10	17
21 GRANADA	9	10	13	16	18	24	27	27	24	18	13	9	17,3
22 GUADALAJARA	7	8	12	14	18	22	26	26	22	16	10	8	15,8
23 GUIPÚZCOA	10	10	13	14	16	19	21	21	20	17	13	10	15,3
24 HUELVA	13	14	16	20	21	24	27	27	25	21	17	14	19,9
25 HUESCA	7	8	12	15	18	22	25	25	21	16	11	7	15,6
26 JAÉN	11	11	14	17	21	26	30	29	25	19	15	10	19
27 LEÓN	5	6	10	12	15	19	22	22	19	14	9	6	13,3
28 LÉRIDA	7	10	14	15	21	24	27	27	23	18	11	8	17,1
29 LUGO	8	9	11	13	15	18	20	21	19	15	11	8	14
30 MADRID	6	8	11	13	18	23	28	26	21	15	11	7	15,6
31 MÁLAGA	15	15	17	19	21	25	27	28	26	22	18	15	20,7
32 MELILLA	15	15	16	18	21	25	27	28	26	22	18	16	20,6
33 MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19,3
34 NAVARRA	7	7	11	13	16	20	22	23	20	15	10	8	14,3
35 ORENSE	9	9	13	15	18	21	24	23	21	16	12	9	15,8
36 PALENCIA	5	7	10	13	16	20	23	23	20	14	9	6	13,8
37 LAS PALMAS	20	20	21	22	23	24	25	20	26	25	23	21	22,5
38 PONTEVEDRA	11	12	14	16	18	20	22	23	20	17	14	12	16,6
39 LA RIOJA	7	9	12	14	17	21	24	24	21	16	11	8	15,3
40 SALAMANCA	6	7	10	13	16	20	24	23	20	14	9	6	14
41 STA. C. DE TENERIFE	19	20	20	21	22	24	26	27	26	25	23	20	22,8
42 SEGOVIA	4	6	10	12	15	20	24	23	20	14	9	5	13,5
43 SEVILLA	11	13	14	17	21	25	29	29	24	20	16	12	19,3
44 SORIA	4	6	9	11	14	19	22	22	18	13	8	5	12,6
45 TARRAGONA	11	12	14	16	19	22	25	26	23	20	15	12	17,9
46 TERUEL	5	6	9	12	16	20	23	24	19	14	9	6	13,6
47 TOLEDO	8	9	13	15	19	24	28	27	23	17	12	8	16,9
48 VALENCIA	12	13	15	17	20	23	26	27	24	20	16	13	18,8
49 VALLADOLID	4	6	9	12	17	21	24	23	18	13	8	4	13,3
50 VIZCAYA	10	11	12	13	16	20	22	22	20	16	13	10	15,4
51 ZAMORA	6	7	11	13	16	21	24	23	20	15	10	6	14,3
52 ZARAGOZA	8	10	13	16	19	23	26	26	23	17	12	9	16,8

Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Fuente: CENSOLAR).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	4,6	6,9	11,2	13	14,8	16,6	18,1	17,3	14,3	9,5	5,5	4,1	11,3
2 ALBACETE	6,7	10,5	15	19,2	21,2	25,1	26,7	23,2	18,8	12,4	8,4	6,4	16,1
3 ALICANTE	8,5	12	16,3	18,9	23,1	24,8	25,8	22,5	18,3	13,6	9,8	7,6	16,8
4 ALMERÍA	8,9	12,2	16,4	19,6	23,1	24,6	25,3	22,5	18,5	13,9	10	8	16,9
5 ASTURIAS	5,3	7,7	10,6	12,2	15	15,2	16,8	14,8	12,4	9,8	5,9	4,6	10,9
6 ÁVILA	6	9,1	13,5	17,7	19,4	22,3	26,3	25,3	18,8	11,2	6,9	5,2	15,1
7 BADAJOZ	6,5	10	13,6	18,7	21,8	24,6	25,9	23,8	17,9	12,3	8,2	6,2	15,8
8 BALEARES	7,2	10,7	14,4	16,2	21	22,7	24,2	20,6	16,4	12,1	8,5	6,5	15
9 BARCELONA	6,5	9,5	12,9	16,1	18,6	20,3	21,6	18,1	14,6	10,8	7,2	5,8	13,5
10 BURGOS	5,1	7,9	12,4	16	18,7	21,5	23	20,7	16,7	10,1	6,5	4,5	13,6
11 CÁCERES	6,8	10	14,7	19,6	22,1	25,1	28,1	25,4	19,7	12,7	8,9	6,6	16,6
12 CÁDIZ	8,1	11,5	15,7	18,5	22,2	23,8	25,9	23	18,1	14,2	10	7,4	16,5
13 CANTABRIA	5	7,4	11	13	16,1	17	18,4	15,5	13	9,5	5,8	4,5	11,3
14 CASTELLÓN	8	12,2	15,5	17,4	20,6	21,4	23,9	19,5	16,6	13,1	8,6	7,3	15,3
15 CEUTA	8,9	13,1	18,6	21	24,3	26,7	26,8	24,3	19,1	14,2	11	8,6	18,1
16 CIUDAD REAL	7	10,1	15	18,7	21,4	23,7	25,3	23,2	18,8	12,5	8,7	6,5	15,9
17 CÓRDOBA	7,2	10,1	15,1	18,5	21,8	25,9	28,5	25,1	19,9	12,6	8,6	6,9	16,7
18 LA CORUÑA	5,4	8	11,4	12,4	15,4	16,2	17,4	15,3	13,9	10,9	6,4	5,1	11,5
19 CUENCA	5,9	8,8	12,9	17,4	18,7	22	25,6	22,3	17,5	11,2	7,2	5,5	14,6
20 GERONA	7,1	10,5	14,2	15,9	18,7	19	22,3	18,5	14,9	11,7	7,8	6,6	13,9
21 GRANADA	7,8	10,8	15,2	18,5	21,9	24,8	26,7	23,6	18,8	12,9	9,6	7,1	16,5
22 GUADALAJARA	6,5	9,2	14	17,9	19,4	22,7	25	23,2	17,8	11,7	7,8	5,6	15,1
23 GUIPÚZCOA	5,5	7,7	11,3	11,7	14,6	16,2	16,1	13,6	12,7	10,3	6,2	5	10,9
24 HUELVA	7,6	11,3	16	19,5	24,1	25,6	28,7	25,6	21,2	14,5	9,2	7,5	17,6
25 HUESCA	6,1	9,6	14,3	18,7	20,3	22,1	23,1	20,9	16,9	11,3	7,2	5,1	14,6
26 JAÉN	6,7	10,1	14,4	18	20,3	24,4	26,7	24,1	19,2	11,9	8,1	6,5	15,9
27 LEÓN	5,8	8,7	13,8	17,2	19,5	22,1	24,2	20,9	17,2	10,4	7	4,8	14,3
28 LÉRIDA	6	9,9	18	18,8	20,9	22,6	23,8	21,3	16,8	12,1	7,2	4,8	15,2
29 LUGO	5,1	7,6	11,7	15,2	17,1	19,5	20,2	18,4	15	9,9	6,2	4,5	12,5
30 MADRID	6,7	10,6	13,6	18,8	20,9	23,5	26	23,1	16,9	11,4	7,5	5,9	15,4
31 MÁLAGA	8,3	12	15,5	18,5	23,2	24,5	26,5	23,2	19	13,6	9,3	8	16,8
32 MELILLA	9,4	12,6	17,2	20,3	23	24,8	24,8	22,6	18,3	14,2	10,9	8,7	17,2
33 MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8
34 NAVARRA	5	7,4	12,3	14,5	17,1	18,9	20,5	18,2	16,2	10,2	6	4,5	12,6
35 ORENSE	4,7	7,3	11,3	14	16,2	17,6	18,3	16,6	14,3	9,4	5,6	4,3	11,6
36 PALENCIA	5,3	9	13,2	17,5	19,7	21,8	24,1	21,6	17,1	10,9	6,6	4,6	14,3
37 LAS PALMAS	11,2	14,2	17,8	19,6	21,7	22,5	24,3	21,9	19,8	15,1	12,3	10,7	17,6
38 PONTEVEDRA	5,5	8,2	13	15,7	17,5	20,4	22	18,9	15,1	11,3	6,8	5,5	13,3
39 LA RIOJA	5,6	8,8	13,7	16,6	19,2	21,4	23,3	20,8	16,2	10,7	6,8	4,8	14
40 SALAMANCA	6,1	9,5	13,5	17,1	19,7	22,8	24,6	22,6	17,5	11,3	7,4	5,2	14,8
41 STA. C. DE TENERIFE	10,7	13,3	18,1	21,5	25,7	26,5	29,3	26,6	21,2	16,2	10,8	9,3	19,1
42 SEGOVIA	5,7	8,8	13,4	18,4	20,4	22,6	25,7	24,9	18,8	11,4	6,8	5,1	15,2
43 SEVILLA	7,3	10,9	14,4	19,2	22,4	24,3	24,9	23	17,9	12,3	8,8	6,9	16
44 SORIA	5,9	8,7	12,8	17,1	19,7	21,8	24,1	22,3	17,5	11,1	7,6	5,6	14,5
45 TARRAGONA	7,3	10,7	14,9	17,6	20,2	22,5	23,8	20,5	16,4	12,3	8,8	6,3	15,1
46 TERUEL	6,1	8,8	12,9	16,7	18,4	20,6	21,8	20,7	16,9	11	7,1	5,3	13,9
47 TOLEDO	6,2	9,5	14	19,3	21	24,4	27,2	24,5	18,1	11,9	7,6	5,6	15,8
48 VALENCIA	7,6	10,6	14,9	18,1	20,6	22,8	23,8	20,7	16,7	12	8,7	6,6	15,3
49 VALLADOLID	5,5	8,8	13,9	17,2	19,9	22,6	25,1	23	18,3	11,2	6,9	4,2	14,7
50 VIZCAYA	5	7,1	10,8	12,7	15,5	16,7	17,9	15,7	13,1	9,3	6	4,6	11,2
51 ZAMORA	5,4	8,9	13,2	17,3	22,2	21,6	23,5	22	17,2	11,1	6,7	4,6	14,5
52 ZARAGOZA	6,3	9,8	15,2	18,3	21,8	24,2	25,1	23,4	18,3	12,1	7,4	5,7	15,6

Factor de corrección k para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. (Fuente: CENSOLAR).

LATITUD = 28°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,05	1,04	1,03	1,01	1	1	1	1,02	1,03	1,05	1,06	1,06
10	1,1	1,08	1,05	1,02	1	0,99	1	1,02	1,06	1,1	1,12	1,12
15	1,14	1,11	1,07	1,02	0,99	0,98	0,99	1,03	1,08	1,13	1,17	1,17
20	1,17	1,13	1,08	1,02	0,97	0,95	0,97	1,02	1,09	1,16	1,21	1,21
25	1,2	1,15	1,08	1	0,95	0,93	0,95	1,01	1,09	1,19	1,25	1,24
30	1,22	1,15	1,07	0,98	0,92	0,89	0,92	0,99	1,09	1,2	1,27	1,27
35	1,23	1,16	1,06	0,96	0,88	0,85	0,88	0,96	1,08	1,21	1,29	1,29
40	1,24	1,15	1,04	0,92	0,84	0,8	0,84	0,93	1,06	1,21	1,3	1,3
45	1,23	1,14	1,01	0,89	0,79	0,75	0,79	0,89	1,04	1,2	1,3	1,3
50	1,22	1,12	0,98	0,84	0,73	0,69	0,73	0,84	1	1,18	1,3	1,3
55	1,2	1,09	0,94	0,79	0,68	0,63	0,67	0,79	0,96	1,15	1,28	1,28
60	1,18	1,05	0,9	0,73	0,61	0,57	0,61	0,73	0,92	1,12	1,26	1,26
65	1,14	1,01	0,85	0,67	0,55	0,5	0,54	0,67	0,86	1,08	1,22	1,23
70	1,1	0,97	0,79	0,61	0,48	0,42	0,47	0,6	0,81	1,03	1,18	1,19
75	1,06	0,91	0,73	0,54	0,4	0,35	0,39	0,53	0,74	0,97	1,14	1,15
80	1	0,86	0,66	0,47	0,33	0,27	0,32	0,46	0,67	0,91	1,08	1,1
85	0,94	0,79	0,59	0,39	0,25	0,19	0,24	0,38	0,6	0,84	1,02	1,04
90	0,88	0,72	0,52	0,32	0,17	0,11	0,16	0,31	0,53	0,77	0,95	0,98

LATITUD = 29°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,05	1,04	1,03	1,02	1	1	1	1,02	1,03	1,05	1,07	1,06
10	1,1	1,08	1,05	1,02	1	0,99	1	1,03	1,06	1,1	1,12	1,12
15	1,15	1,11	1,07	1,03	0,99	0,98	0,99	1,03	1,08	1,14	1,18	1,17
20	1,18	1,14	1,08	1,02	0,98	0,96	0,98	1,03	1,1	1,17	1,22	1,22
25	1,21	1,15	1,08	1,01	0,95	0,93	0,95	1,01	1,1	1,2	1,26	1,25
30	1,23	1,16	1,08	0,99	0,92	0,9	0,92	1	1,1	1,21	1,28	1,28
35	1,24	1,17	1,07	0,97	0,89	0,86	0,89	0,97	1,09	1,22	1,3	1,3
40	1,25	1,16	1,05	0,93	0,85	0,81	0,85	0,94	1,07	1,22	1,32	1,31
45	1,24	1,15	1,02	0,9	0,8	0,76	0,8	0,9	1,05	1,21	1,32	1,32
50	1,23	1,13	0,99	0,85	0,75	0,71	0,74	0,85	1,02	1,19	1,31	1,31
55	1,22	1,1	0,95	0,8	0,69	0,64	0,68	0,8	0,98	1,17	1,3	1,3
60	1,19	1,07	0,91	0,75	0,63	0,58	0,62	0,75	0,93	1,14	1,28	1,28
65	1,16	1,03	0,86	0,69	0,56	0,51	0,55	0,69	0,88	1,1	1,24	1,25
70	1,12	0,98	0,8	0,62	0,49	0,44	0,48	0,62	0,82	1,05	1,2	1,22
75	1,07	0,93	0,74	0,55	0,42	0,36	0,41	0,55	0,76	0,99	1,16	1,17
80	1,02	0,87	0,68	0,48	0,34	0,28	0,33	0,48	0,69	0,93	1,1	1,12
85	0,96	0,81	0,61	0,41	0,26	0,21	0,25	0,4	0,62	0,87	1,04	1,06
90	0,9	0,74	0,54	0,33	0,18	0,13	0,17	0,32	0,54	0,79	0,97	1

Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos). (Fuente: CENSOLAR).

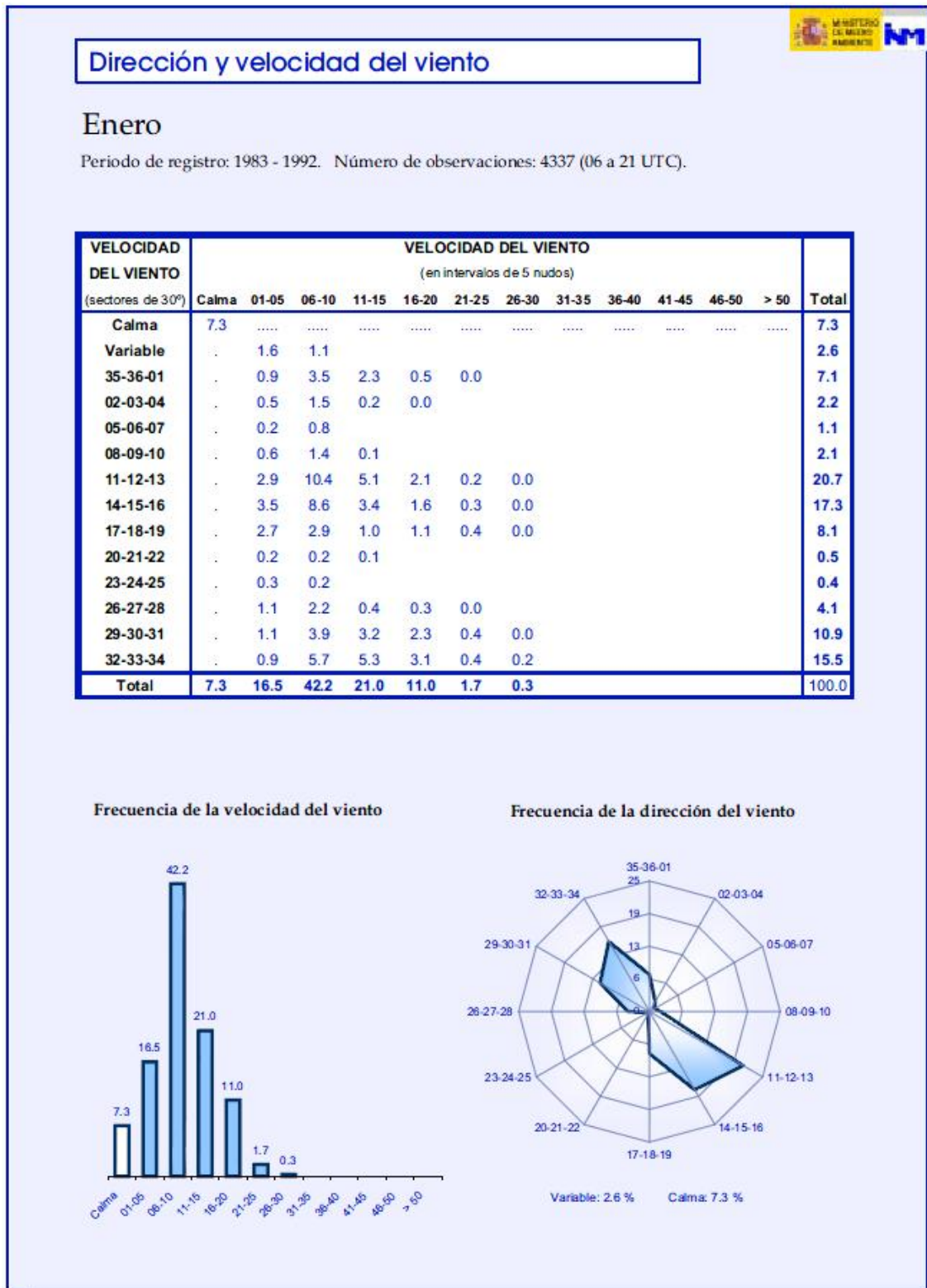
PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42,9	2,7 W	-18
2 ALBACETE	686	39,0	1,8 W	-23
3 ALICANTE	7	38,4	0,5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36,9	2,4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43,4	5,8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40,7	4,9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38,9	7,0 W	-6
8 BALEARES	28	39,6	2,6 E	-4
9 BARCELONA	95	41,4	2,2 E	-7
10 BURGOS	929	42,3	3,7 W	-18
11 CÁCERES	459	39,5	6,4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36,5	6,3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43,5	3,8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40,0	0	-8
15 CEUTA	206	35,9	5,3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39,0	3,9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37,9	4,8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43,4	8,4 W	-9
19 CUENCA	949	40,1	2,1 W	-21
20 GERONA	95	42,0	2,7 E	-11
21 GRANADA	775	37,2	3,7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40,6	3,2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43,3	2,0 W	-12
24 HUELVA	4	37,3	6,9 W	-6
25 HUESCA	488	42,1	0,4 W	-14
26 JAÉN	586	37,8	3,8 W	-8
27 LEÓN	908	42,6	5,6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41,7	1,2 E	-11
29 LUGO	465	43,0	7,6 W	-8
30 MADRID	667	40,4	3,7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36,7	4,4 W	-4
32 MELILLA	47	35,3	3,0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5
34 NAVARRA	449	42,8	1,6 W	-16
35 ORENSE	139	42,3	7,8 W	-8
36 PALENCIA	734	42,0	4,5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28,2	15,4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42,4	8,6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42,5	2,4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41,0	5,6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28,5	16,2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41,0	4,1 W	-17
43 SEVILLA	30	37,4	6,0 W	-6
44 SORIA	1063	41,8	2,5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41,1	1,2 E	-7
46 TERUEL	915	40,4	1,1 W	-14
47 TOLEDO	540	39,9	4,0 W	-9
48 VALENCIA	10	39,5	0,4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41,7	4,7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43,3	3,0 W	-8
51 ZAMORA	649	41,5	5,7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41,7	0,9 W	-11

Intensidad media útil I , en W/m^2 , sobre horizontal, en un día medio de cada mes.

En estos valores ya se ha tenido en cuenta el período útil del día en cuanto a la posibilidad de aprovechamiento de la energía solar, es decir, se ha deducido la energía incidente en los primeros y últimos momentos del día, en que la oblicuidad de los rayos es muy grande y no se aprovecha dicha energía. Pueden directamente utilizarse para cualquier cálculo relativo al rendimiento de colectores solares sólo en los casos en que no haya habido corrección (por razones meteorológicas u otras causas) del valor de H expresado en la tabla 2, y después de aplicar el coeficiente de corrección k dado en la tabla 6.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	151	200	326	357	406	457	498	476	414	275	179	142	323.4
2 ALBACETE	220	306	434	528	584	690	733	639	545	360	274	221	461.2
3 ALICANTE	277	349	472	519	635	680	710	620	530	394	321	265	481
4 ALMERÍA	291	354	477	539	636	675	696	618	536	404	328	279	486.1
5 ASTURIAS	174	222	307	334	414	419	462	407	361	283	192	162	311.4
6 ÁVILA	197	265	391	485	533	612	721	695	546	326	226	181	431.5
7 BADAJOZ	213	289	395	514	600	676	711	653	520	355	269	217	451
8 BALEARES	235	311	418	446	577	623	666	566	474	350	276	226	430.7
9 BARCELONA	211	276	375	441	511	559	593	497	422	313	236	202	386.3
10 BURGOS	165	228	361	440	514	592	631	568	484	292	213	157	387.1
11 CÁCERES	223	291	427	538	606	689	772	698	573	367	290	229	475.3
12 CÁDIZ	263	332	456	510	609	653	713	631	525	411	326	257	473.8
13 CANTABRIA	163	216	318	358	443	466	505	427	376	276	188	157	324.4
14 CASTELLÓN	261	355	450	479	567	588	657	537	483	380	282	256	441.3
15 CEUTA	292	381	539	577	669	735	738	668	555	412	359	298	518.6
16 CIUDAD REAL	230	292	434	514	588	652	696	636	547	362	283	226	455
17 CÓRDOBA	234	292	438	509	599	711	783	691	578	367	279	239	476.7
18 LA CORUÑA	178	231	330	340	422	446	477	420	402	315	209	179	329.1
19 CUENCA	194	257	375	477	515	604	703	613	509	324	234	192	416.4
20 GERONA	232	304	412	438	513	523	614	507	432	340	255	230	400
21 GRANADA	255	314	441	508	603	682	733	649	546	375	313	246	472.1
22 GUADALAJARA	212	266	406	491	532	624	686	636	515	339	255	193	429.6
23 GUIPÚZCOA	179	222	328	322	402	447	444	375	370	299	202	175	313.8
24 HUELVA	249	328	464	537	662	704	789	702	615	420	300	263	502.8
25 HUESCA	199	280	416	514	558	606	635	573	491	327	236	178	417.8
26 JAÉN	218	294	419	494	559	671	735	663	556	345	265	227	453.8
27 LEÓN	189	253	401	473	537	607	665	574	499	302	227	169	408
28 LÉRIDA	195	286	522	516	573	621	654	586	487	350	236	166	432.7
29 LUGO	165	220	339	417	470	536	554	505	436	288	201	156	357.3
30 MADRID	220	307	394	516	574	645	714	636	491	330	245	206	439.8
31 MÁLAGA	272	347	449	509	639	673	728	638	551	396	303	277	481.8
32 MELILLA	308	365	499	559	633	681	681	621	531	413	357	304	496
33 MURCIA	328	430	482	559	666	702	761	645	539	402	319	282	509.6
34 NAVARRA	162	215	357	399	469	519	564	501	469	297	197	157	358.8
35 ORENSE	154	211	327	385	446	484	502	455	415	274	183	150	332.2
36 PALENCIA	174	261	382	481	540	599	664	593	495	317	216	160	406.8
37 LAS PALMAS	366	413	515	540	597	618	667	603	574	439	401	373	508.8
38 PONTEVEDRA	178	237	378	432	482	561	604	520	438	328	223	193	381.2
39 LA RIOJA	184	255	397	456	529	589	641	570	470	311	222	169	399.4
40 SALAMANCA	200	276	392	469	541	625	677	621	508	328	242	181	421.7
41 STA. C. TENERIFE	350	385	525	590	707	728	805	731	616	469	352	324	548.5
42 SEGOVIA	185	255	389	506	561	621	707	684	545	330	221	177	431.8
43 SEVILLA	238	315	419	526	617	667	684	633	520	356	286	240	458.4
44 SORIA	193	253	370	471	541	599	663	612	507	322	247	195	414.4
45 TARRAGONA	240	310	433	485	555	617	655	564	476	358	287	220	433.3
46 TERUEL	199	255	374	458	504	566	600	568	492	320	233	183	396
47 TOLEDO	202	275	407	530	576	670	748	673	525	346	248	194	449.5
48 VALENCIA	248	308	433	497	565	626	655	568	484	349	284	230	437.3
49 VALLADOLID	178	254	402	472	548	621	690	632	530	324	226	147	418.7
50 VIZCAYA	164	207	313	349	426	460	492	431	381	269	196	162	320.8
51 ZAMORA	175	259	383	474	609	593	645	605	500	321	219	160	411.9
52 ZARAGOZA	206	286	441	502	598	665	689	644	531	352	243	198	446.3

Anexo III.- Velocidad y dirección del viento.



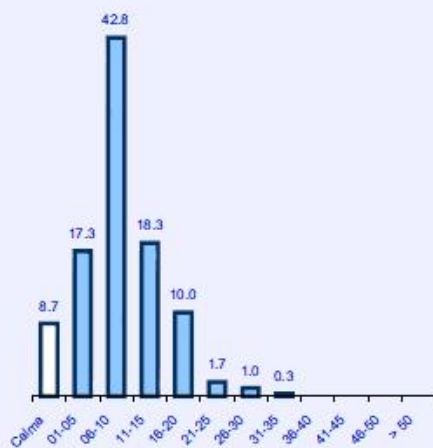
Dirección y velocidad del viento

Febrero

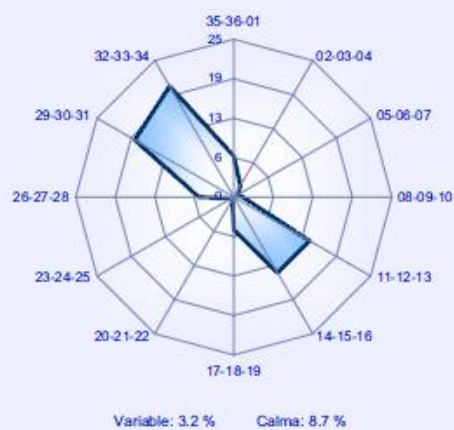
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 3990 (06 a 21 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	8.7	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	8.7
Variable	.	2.4	0.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.2
35-36-01	.	0.7	3.5	1.8	0.6	.	.	.	.	.	.	.	6.5
02-03-04	.	0.4	1.5	0.3	.	.	.	.	.	.	.	.	2.1
05-06-07	.	0.3	0.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.7
08-09-10	.	0.6	0.7	0.1	0.0	.	.	.	.	.	.	.	1.4
11-12-13	.	3.1	8.1	2.3	0.3	.	.	.	.	.	.	.	13.8
14-15-16	.	3.3	8.4	1.8	0.4	.	.	.	.	.	.	.	13.8
17-18-19	.	1.8	2.2	0.6	0.4	0.1	0.1	.	.	.	.	.	5.2
20-21-22	.	0.3	0.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.4
23-24-25	.	0.3	0.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.4
26-27-28	.	1.8	2.6	0.6	0.5	.	.	.	.	.	.	.	5.5
29-30-31	.	1.2	7.1	4.8	3.4	0.8	0.6	0.2	.	.	.	.	18.1
32-33-34	.	1.3	7.2	6.1	4.4	0.8	0.3	0.1	.	.	.	.	20.3
Total	8.7	17.3	42.8	18.3	10.0	1.7	1.0	0.3					100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



Dirección y velocidad del viento

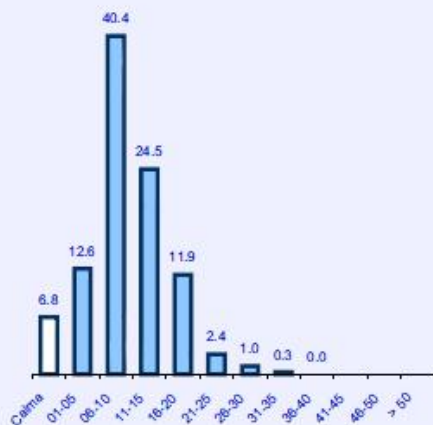


Marzo

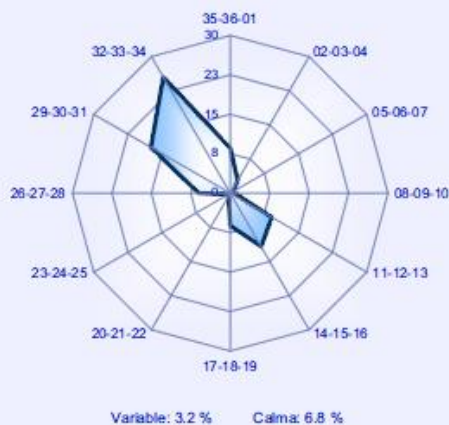
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4420 (06 a 21 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	6.8	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	6.8
Variable	..	2.1	1.1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3.2
35-36-01	..	0.8	4.6	2.4	0.7	..	0.1	..	..	..	..	..	8.6
02-03-04	..	0.6	2.0	0.2	..	..	..	..	..	..	..	..	2.8
05-06-07	..	0.4	0.3	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.7
08-09-10	..	0.4	0.4	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	0.8
11-12-13	..	1.6	5.1	2.1	0.4	0.0	..	..	..	..	..	..	9.1
14-15-16	..	2.6	6.6	1.7	0.6	0.1	0.1	0.1	..	..	..	..	11.7
17-18-19	..	1.3	2.8	1.4	0.6	0.1	0.1	..	..	..	..	..	6.2
20-21-22	..	0.2	0.4	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	0.6
23-24-25	..	0.2	0.2	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.4
26-27-28	..	1.1	2.6	1.4	0.8	0.1	0.0	..	..	..	..	..	6.0
29-30-31	..	0.8	5.9	6.5	3.1	0.7	0.2	0.1	0.0	..	..	..	17.4
32-33-34	..	0.5	8.6	8.7	5.8	1.4	0.5	0.1	0.0	..	..	..	25.5
Total	6.8	12.6	40.4	24.5	11.9	2.4	1.0	0.3	0.0	..	..	..	100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



Dirección y velocidad del viento

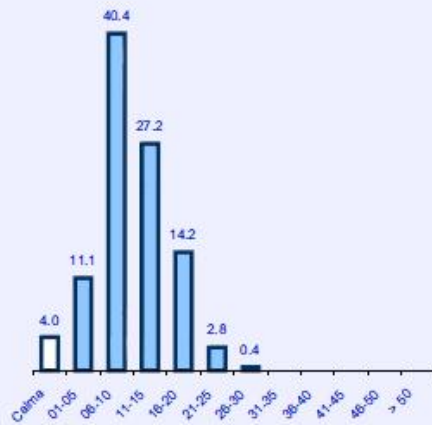


Abril

Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4030 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)													Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50		
	Calma	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Calma	4.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	4.0
Variable	2.2	1.6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3.7	
35-36-01	1.0	5.4	3.1	1.5	0.1	0.0	.....	.....	.....	.....	.....	11.1	
02-03-04	0.5	2.4	0.9	0.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3.9	
05-06-07	0.2	0.8	0.1	0.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.2	
08-09-10	0.5	0.8	0.0	0.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.3	
11-12-13	1.6	3.0	0.4	0.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	5.1	
14-15-16	1.3	2.5	0.6	0.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	4.5	
17-18-19	0.8	1.6	0.2	0.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.8	
20-21-22	0.2	0.3	0.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.5	
23-24-25	0.2	0.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.5	
26-27-28	0.8	2.4	1.6	0.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	4.9	
29-30-31	0.7	8.1	7.7	3.6	0.8	0.1	.....	.....	.....	.....	.....	21.0	
32-33-34	1.0	11.2	12.5	8.5	2.0	0.2	.....	.....	.....	.....	.....	35.5	
Total	4.0	11.1	40.4	27.2	14.2	2.8	0.4	.....	.....	.....	.....	.....	100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



Dirección y velocidad del viento

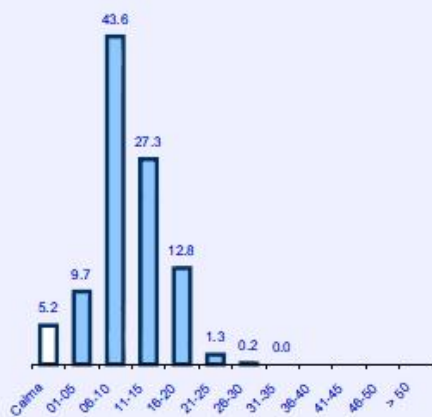


Mayo

Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4126 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	5.2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	5.2
Variable	.	2.1	1.7										3.7
35-36-01	.	1.0	5.9	2.9	1.0	0.0							10.9
02-03-04	.	0.3	2.2	0.8	0.2								3.6
05-06-07	.	0.1	0.2	0.0									0.4
08-09-10	.	0.1	0.2										0.4
11-12-13	.	1.1	2.6	0.3									4.1
14-15-16	.	1.0	2.5	0.2	0.0								3.7
17-18-19	.	0.5	1.1	0.0									1.6
20-21-22	.	0.2	0.1										0.2
23-24-25	.	0.1	0.2	0.0									0.3
26-27-28	.	0.9	2.6	1.0	0.1		0.0						4.6
29-30-31	.	1.0	9.4	8.2	3.9	0.4	0.1	0.0					23.0
32-33-34	.	1.2	14.9	13.8	7.4	0.9	0.1	0.0					38.3
Total	5.2	9.7	43.6	27.3	12.8	1.3	0.2	0.0					100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



Dirección y velocidad del viento

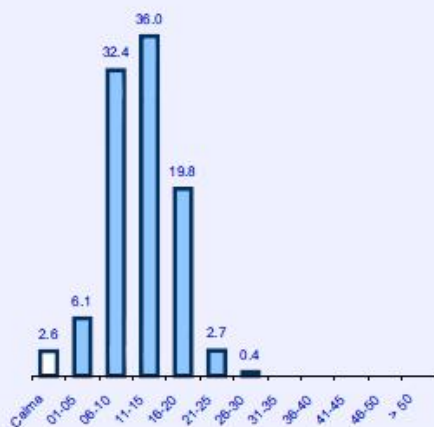


Junio

Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 3986 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	2.6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.6
Variable	.	1.2	0.8										2.1
35-36-01	.	0.4	3.3	3.1	1.3	0.1							8.2
02-03-04	.	0.1	0.9	0.6	0.5	0.0							2.1
05-06-07	.	0.0	0.6	0.2									0.8
08-09-10	.	0.1	0.3	0.1									0.6
11-12-13	.	0.9	1.3	0.2									2.4
14-15-16	.	0.7	1.4	0.2	0.1								2.4
17-18-19	.	0.3	0.8	0.0	0.0								1.2
20-21-22	.	0.1	0.2										0.3
23-24-25	.	0.2	0.1										0.2
26-27-28	.	0.6	1.3	0.4	0.3								2.6
29-30-31	.	0.6	7.7	9.4	6.2	0.7	0.1						24.8
32-33-34	.	0.8	13.6	21.7	11.4	1.9	0.3						49.7
Total	2.6	6.1	32.4	36.0	19.8	2.7	0.4						100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



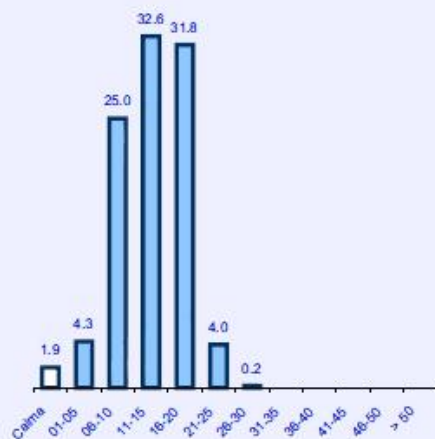
Dirección y velocidad del viento

Julio

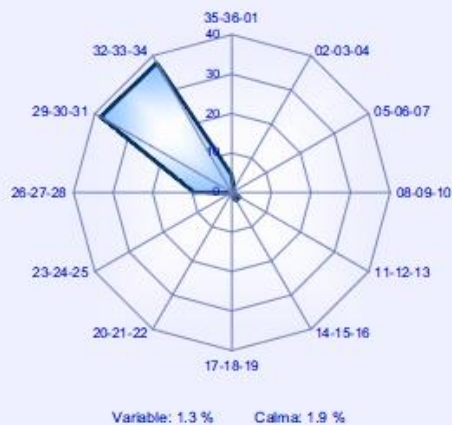
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4008 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	1.9	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.9
Variable	..	0.7	0.6	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1.3
35-36-01	..	0.2	1.5	1.6	1.0	0.1	..	..	..	..	..	..	4.4
02-03-04	..	0.1	0.3	0.2	0.2	..	..	..	..	..	..	..	0.9
05-06-07	..	0.1	0.0	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.1
08-09-10	..	0.2	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.3
11-12-13	..	0.6	1.5	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	2.2
14-15-16	..	0.5	1.6	0.2	..	..	..	..	..	..	..	..	2.3
17-18-19	..	0.4	0.3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.7
20-21-22	..	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.1
23-24-25	0.2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.2
26-27-28	..	0.8	5.5	2.6	0.5	0.0	..	..	..	..	..	..	9.5
29-30-31	..	0.5	7.1	14.0	14.8	1.8	0.0	..	..	..	..	..	38.3
32-33-34	..	0.4	6.2	13.7	15.2	2.2	0.2	..	..	..	..	..	37.8
Total	1.9	4.3	25.0	32.6	31.8	4.0	0.2	..	..	..	..	..	100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



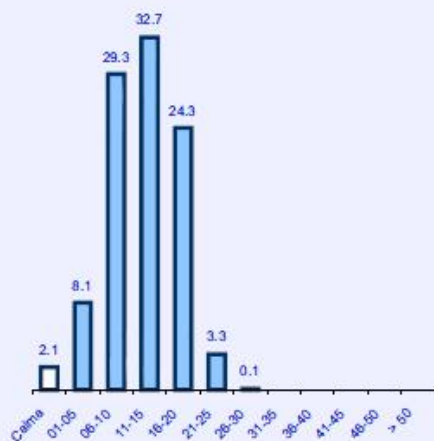
Dirección y velocidad del viento

Agosto

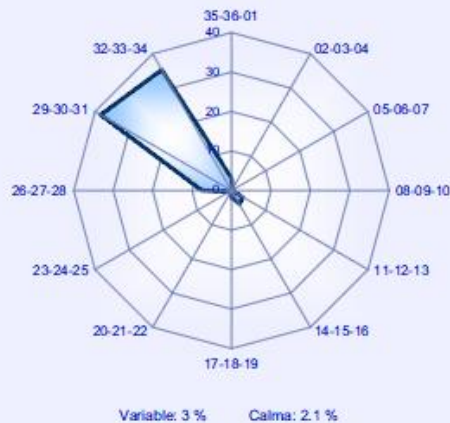
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4140 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	2.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.1
Variable	.	2.2	0.8										3.0
35-36-01	.	0.4	1.5	1.0	0.2	0.0							3.2
02-03-04	.	0.1	0.3	0.0									0.5
05-06-07	.		0.0										0.0
08-09-10	.	0.0	0.1	0.0									0.2
11-12-13	.	0.9	2.2	0.3									3.4
14-15-16	.	1.3	2.6	0.2	0.0								4.0
17-18-19	.	0.7	0.9	0.1									1.7
20-21-22	.	0.1											0.1
23-24-25	.	0.2	0.3										0.5
26-27-28	.	0.6	4.4	2.0	0.5								7.5
29-30-31	.	0.9	9.0	14.9	11.9	1.5	0.1						38.3
32-33-34	.	0.6	7.1	14.1	11.6	1.8	0.1						35.3
Total	2.1	8.1	29.3	32.7	24.3	3.3	0.1						100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



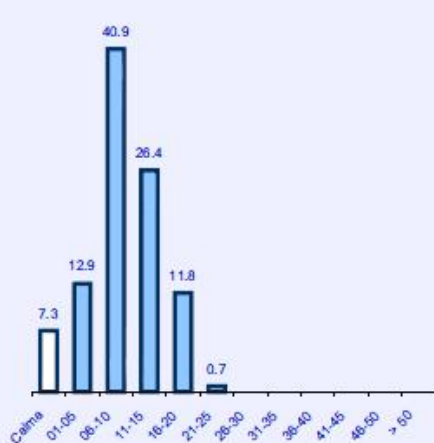
Dirección y velocidad del viento

Septiembre

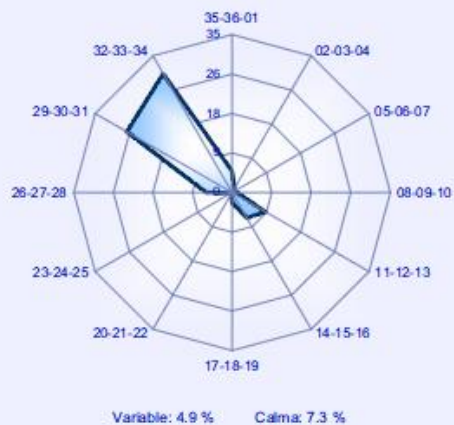
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4031 (06 a 20 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	7.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	7.3
Variable	.	3.4	1.5										4.9
35-36-01	.	0.6	3.0	1.0	0.2								4.8
02-03-04	.	0.2	0.7	0.1									1.0
05-06-07	.	0.1	0.1	0.0									0.3
08-09-10	.	0.4	0.6	0.1									1.1
11-12-13	.	2.0	5.6	0.9	0.0	0.1							8.5
14-15-16	.	1.9	3.9	0.6		0.0							6.5
17-18-19	.	1.0	0.9	0.2									2.2
20-21-22	.	0.1	0.1	0.0									0.2
23-24-25	.	0.2	0.1										0.3
26-27-28	.	0.9	3.8	0.8	0.2								5.7
29-30-31	.	1.2	10.3	10.1	5.1	0.3							26.9
32-33-34	.	1.0	10.3	12.5	6.3	0.3							30.4
Total	7.3	12.9	40.9	26.4	11.8	0.7							100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento



Dirección y velocidad del viento

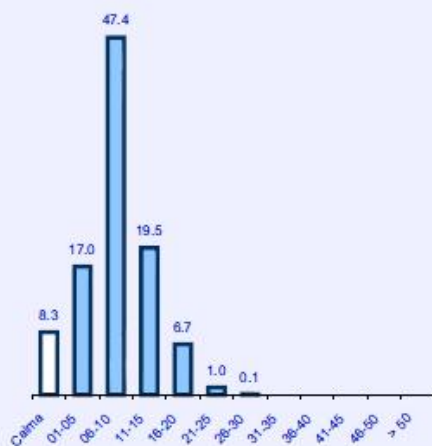


Octubre

Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4496 (06 a 21 UTC).

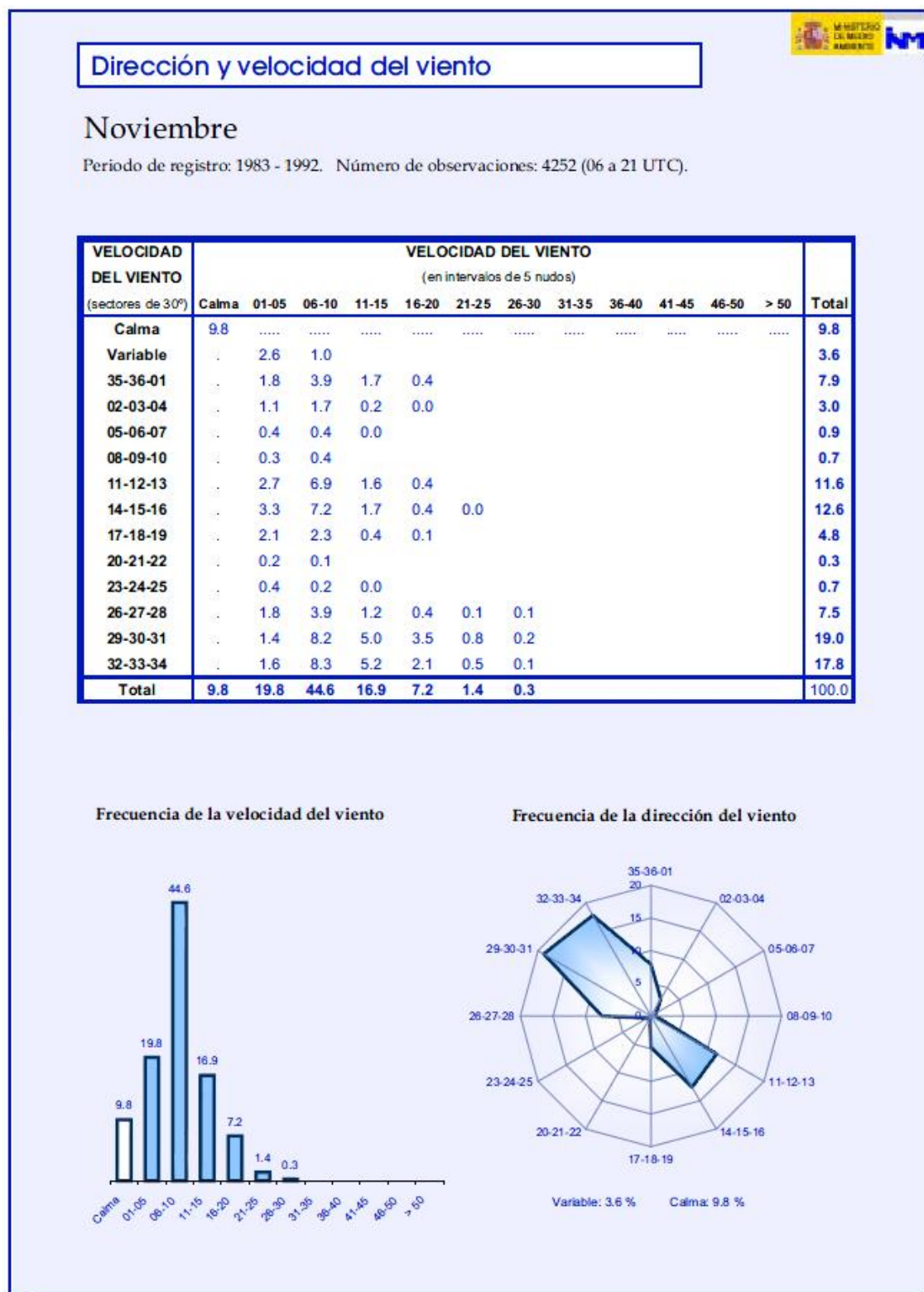
VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	8.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	8.3
Variable	..	2.2	0.8	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3.0
35-36-01	..	0.5	4.3	1.2	0.2	0.0	..	..	..	..	..	..	6.3
02-03-04	..	0.3	1.2	0.2	..	..	..	..	..	..	..	..	1.8
05-06-07	..	0.1	0.2	..	0.0	..	..	..	..	..	..	..	0.3
08-09-10	..	0.4	0.5	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.9
11-12-13	..	2.9	6.2	0.7	0.1	..	..	..	..	..	..	..	9.9
14-15-16	..	3.5	5.5	0.6	0.1	..	..	..	..	..	..	..	9.7
17-18-19	..	1.6	1.7	0.7	0.1	..	..	..	..	..	..	..	4.1
20-21-22	..	0.2	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.2
23-24-25	..	0.4	0.1	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.5
26-27-28	..	1.7	3.9	0.7	0.1	..	..	..	..	..	..	..	6.4
29-30-31	..	1.8	10.0	6.2	2.5	0.3	0.0	..	..	..	..	..	20.8
32-33-34	..	1.4	12.9	9.2	3.6	0.6	0.1	..	..	..	..	..	27.8
Total	8.3	17.0	47.4	19.5	6.7	1.0	0.1	..	..	..	..	..	100.0

Frecuencia de la velocidad del viento



Frecuencia de la dirección del viento





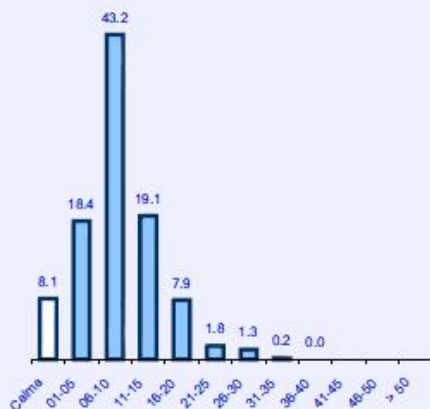
Dirección y velocidad del viento

Diciembre

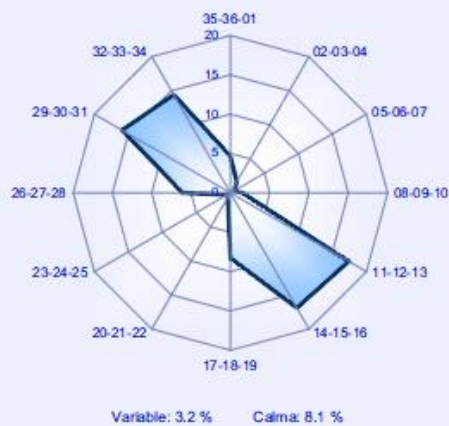
Periodo de registro: 1983 - 1992. Número de observaciones: 4377 (06 a 21 UTC).

VELOCIDAD DEL VIENTO (sectores de 30°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (en intervalos de 5 nudos)												Total
	Calma	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
Calma	8.1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	8.1
Variable	..	2.4	0.8	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3.2
35-36-01	..	0.8	2.5	1.1	0.2	0.0	0.0	..	..	..	..	..	4.7
02-03-04	..	0.6	0.9	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	1.6
05-06-07	..	0.3	0.3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.6
08-09-10	..	0.6	0.7	0.2	..	..	..	..	..	..	..	..	1.5
11-12-13	..	3.0	9.9	3.5	0.8	0.1	0.1	..	..	..	..	..	17.4
14-15-16	..	4.3	8.6	2.7	0.9	0.2	0.1	..	..	..	..	..	16.9
17-18-19	..	2.0	3.2	1.7	0.8	0.3	0.3	..	..	..	..	..	8.3
20-21-22	..	0.4	0.3	0.0	..	..	..	..	..	..	..	..	0.7
23-24-25	..	0.3	0.1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0.5
26-27-28	..	1.1	3.4	1.0	0.4	0.1	0.1	..	..	..	..	..	6.1
29-30-31	..	1.3	6.5	4.7	2.4	0.5	0.4	0.2	..	..	..	..	15.9
32-33-34	..	1.2	5.7	4.2	2.4	0.6	0.2	..	0.0	..	..	..	14.4
Total	8.1	18.4	43.2	19.1	7.9	1.8	1.3	0.2	0.0	..	..	..	100.0

Frecuencia de la velocidad del viento

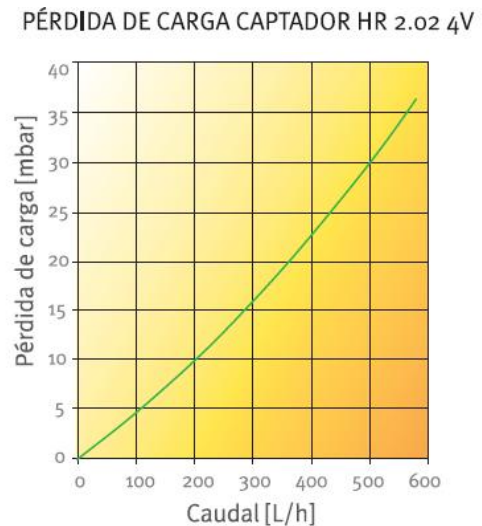
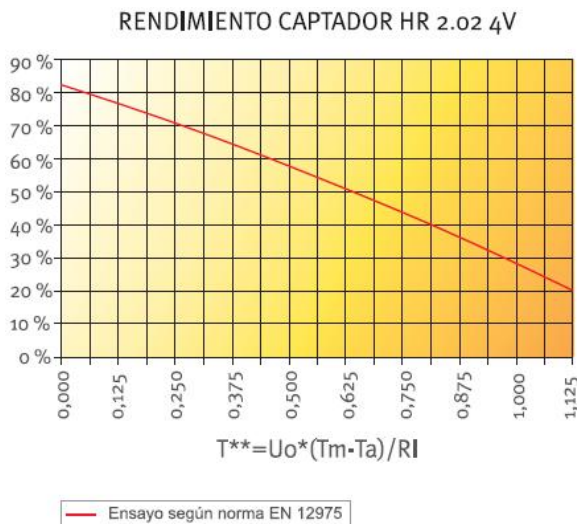


Frecuencia de la dirección del viento

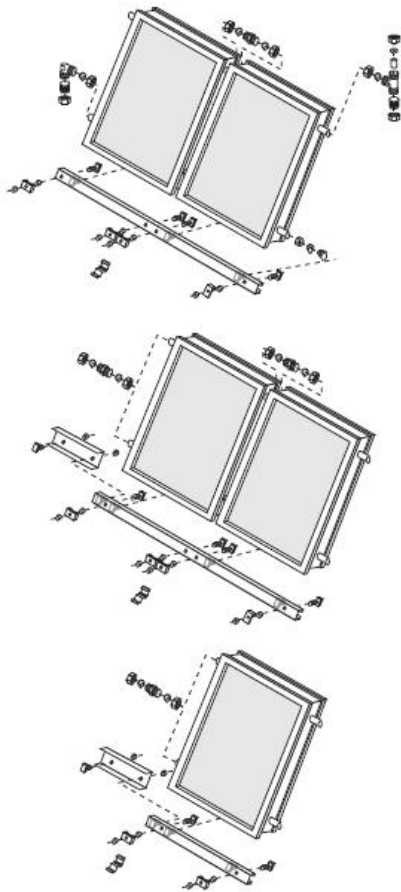


Anexo IV.- Componentes de la instalación.

I.- Captadores solares



Características	Unidad	Captador solar HR 2.02 4V
Dimensiones	mm	1.930x1.160x90
Superficie de absorción	m ²	2,02
Superficie de apertura	m ²	2,02
Superficie bruta	m ²	2,24
Peso	kg	39
Contenido de fluido	L	1,36
Presión de trabajo	bar	6,0
Presión de prueba	bar	10
Temperatura estancamiento (T _A = 30 °C - RI=1000 W/m ²)	°C	196
Caudal recomendado	L/hm ²	40
Fluido de transferencia de calor		Agua+propilenglicol
Absorbedor		Cobre con tubo de cobre (soldadura por ultrasonidos)
Tratamiento selectivo		SUNSELECT
Espesor de la placa absorbente	mm	0,2
Grado de absorción solar (AM 1.5)	%	95
Grado de emisión térmica (100 °C)	%	5
Nº de tubos en paralelo		9
Diámetro conexiones	mm	22
Marco		Aluminio
Aislamiento		Lana de roca (aplicación solar)
Espesor de aislamiento pared posterior	mm	40
Espesor de aislamiento laterales	mm	15
Junta de estanqueidad del colector		Junta EPDM
Vidrio		Vidrio solar de seguridad de 4 mm
Transmisión del vidrio	%	91 ± 2
Rendimiento normalizado EN-12975 (CENER)		
Rendimiento (superficie apertura)		
Coefficiente óptico-ganancias	η ₀	0,819
Coefficiente pérdidas 1	K ₁ W/m ² K	4,227
Coefficiente pérdidas 2	K ₂ W/m ² K ²	0,014
Pérdida de carga		
50 L/h	mbar	2,5
100 L/h	mbar	5
150 L/h	mbar	8
Modelo		
HR 2.02 4V	Ref. 0020020360	€ 612,00



Accesorios para montaje en tejado inclinado

KIT BÁSICO MONTAJE 2 CAPTADORES

Incluye:

- Base-soporte 2 captadores
- Racores unión captadores (ref. 0020020438)
- 1 juego de racores hidráulicos 1 batería (ent/sal) (ref. 0020020437)

KIT AMPLIACIÓN 2 CAPTADORES

Incluye:

- Base-soporte 2 captadores
- 2 juegos de racores unión captadores (ref. 0020020438)

KIT AMPLIACIÓN 1 CAPTADOR

Incluye:

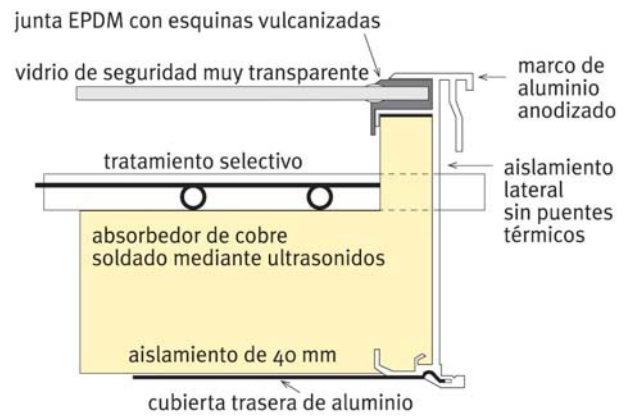
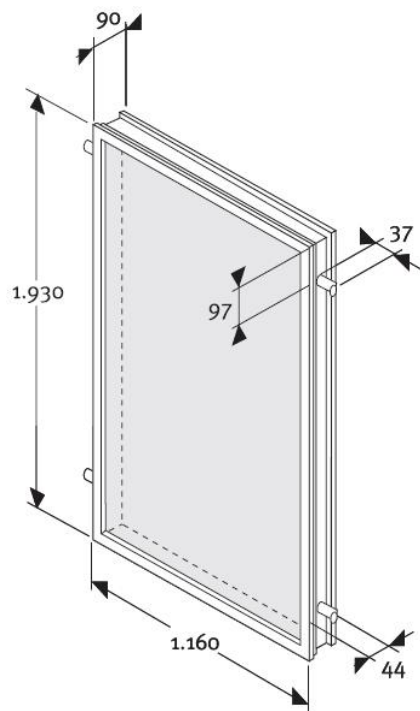
- Base-soporte 1 captador
- 1 juego de racores unión captadores (ref. 0020020438)

Descripción	Ref.	€
Kit básico montaje tejado inclinado 2 captadores	0020022872	198,00
Kit ampliación tejado inclinado 1 captador	0020022873	108,00
Kit ampliación tejado inclinado 2 captadores	0020022874	164,00

NOTA: Además de los kit de montaje hay que seleccionar y pedir los elementos de fijación del soporte al tejado. Utilice la siguiente tabla de selección:



Descripción	Teja estándar		Teja plana		Teja estándar ajustable	
	Ref.	€	Ref.	€	Ref.	€
Kit básico soportes 2 captadores	0020020444	109,00	0020020449	114,00	3 x 0020020442	297,00
Kit ampliación soportes 1 captador	0020020441	59,00	0020020447	49,00	0020020442	99,00
Kit ampliación soportes 2 captador	0020020443	96,00	0020020448	83,00	2 x 0020020442	198,00



II.- Aislamientos de las conducciones.

SH/Armaflex®

La solución profesional para ahorrar energía y reducir emisiones de CO₂

Altamente flexible para facilitar su aplicación

Sin fibras, no irrita la piel

La estructura de células cerradas evita la absorción de humedad

Conductividad térmica muy baja: ahorra hasta un 87% de energía

Cierre doble autoadhesivo para doble seguridad

NUEVO corte tangencial, mayor superficie de adhesivo

Sus ventajas:

SH/Armaflex® es un aislamiento flexible de espuma elastomérica que optimiza el rendimiento de las instalaciones de calefacción y fontanería, ahorrando tiempo y dinero. Las propiedades técnicas certificadas, que cumplen todas las normativas relevantes, aseguran a la instalación el mayor ahorro de energía y una larga vida útil. Además de la mejora en el confort para el usuario final y de los menores costes de mantenimiento, SH/Armaflex® reduce extraordinariamente las emisiones de CO₂ y tiene un tiempo de recuperación de la inversión extremadamente corto.

Gama de producto

Coquillas de SH/Armaflex®, longitud 2m								
Tubería de cobre Cu		Tubería de hierro Fe		Coquillas SH/Armaflex®				
Diámetro exterior en mm	Pulgadas	Pulgadas	Diámetro exterior en mm	espesor nominal 9 mm	espesor nominal 19 mm	espesor nominal 22 mm	espesor nominal 27 mm	espesor nominal 36 mm
						equivalente a 25 mm RITE	equivalente a 30 mm RITE	equivalente a 35 mm RITE
						equivalente a 25 mm RITE	equivalente a 30 mm RITE	equivalente a 40 mm RITE
12	½	-	-	SH-09X012	SH-10X012	SH-22X012		
15	¾	¾	13,5	SH-09X015	SH-10X015	SH-22X015		
18	¾	¾	17,2	SH-09X018	SH-10X018	SH-22X018		
22	¾	¾	21,3	SH-09X022	SH-10X022	SH-22X022		
28	1 ¼	¾	26,9	SH-09X028	SH-10X028	SH-22X028		
35	1 ¾	1	33,7	SH-09X035	SH-10X035	SH-22X035		
42	1 ¾	1 ¼	42,4	SH-09X042	SH-10X042		SH-27X042	
-	-	1 ½	48,3	SH-09X048	SH-10X048		SH-27X048	
54	2 ¼	-	54,0	SH-09X054	SH-10X054		SH-27X054	
-	-	2	60,3	SH-09X060			SH-27X060	
76,1	3 ¼	2 ½	76,1	SH-09X076			SH-27X076	
88,9	3 ¾	3	88,9	SH-09X089			SH-27X089	
-	-	3 ½	101,6 / 104,3	SH-09X102				
114	-	4	114,3	SH-09X114			SH-27X114	SH-36X114
-	-	5	139,7	SH-09X140			SH-27X140	SH-36X140
159	-	-	160,0					SH-36X160
-	-	6	165,1					SH-36X168

Una parte importante de la gama está disponible en versión auto-adhesiva con corte tangencial. Consulte nuestra tarifa de precios para más información.

SH/Armaflex®**Coquillas 2 m.**

Tubería de Cobre Cu		Tubería de Hierro Fe		Coquilla AF/Armaflex Ø Int. mín/máx mm.	SH Espesor Nominal 19,0 mm.				SH Espesor Nominal 22,0 mm.		
Ø Exterior mm.	Pulgadas	Pulgadas	Ø Exterior mm.		Ref.	metros/ cartón	ESTÁNDAR	AUTOADHESIVA	Ref.	metros/ cartón	ESTÁNDAR
							€/m.l.	€/m.l.			
12	1/2	-	-	13,0 - 14,5	SH-19X012	84	2,15		SH-22X012★	60	5,80
15	5/8	1/4	13,5	16,0 - 17,5	SH-19X015★	72	2,36	2,79	SH-22X015★	54	5,85
18	3/4	3/8	17,2	19,0 - 20,5	SH-19X018★	66	2,63	3,10	SH-22X018★	50	5,92
22	7/8	1/2	21,3	23,0 - 24,5	SH-19X022★	60	2,86	3,38	SH-22X022★	42	6,01
28	1 1/8	3/4	26,9	29,0 - 30,5	SH-19X028★	48	3,40	4,01	SH-22X028★	40	7,20
35	1 3/8	1	33,7	36,0 - 38,0	SH-19X035★	40	3,97	4,68	SH-22X035★	24	8,07
42	1 5/8	1 1/4	42,4	43,5 - 45,5	SH-19X042★	32	4,43	5,23			
-	-	1 1/2	48,3	49,5 - 51,5	SH-19X048★	30	4,92	5,80			
54	2 1/8	-	54,0	55,0 - 57,0	SH-19X054★	26	5,30	6,26			
-	-	2	60,3	61,5 - 63,5							
76,1	-	2 1/2	76,1	77,0 - 79,5							
88,9	3 1/2	3	88,9	90,5 - 93,5							
-	3 5/8	3 1/2	101,6/104,3	102,0 - 105,0							
114	-	4	114,3	115,0 - 119,0							
-	-	5	139,7	141,0 - 146,0							
159	-	-	160,0	161,0 - 166,0							
-	-	6	165,1	166,0 - 171,0							
Tolerancia de espesor					± 2,5 mm				± 2,5 mm		

Las coquillas marcadas con *, se suministran también autoadhesivas con doble sellado y están importadas de nuestra fábrica de Münster, por tanto no están contempladas por la Supervisión de AENOR para coquillas estándar y tienen clasificación de reacción al fuego M-1 UNE 23727, M-1 (NF) y B-1 DIN 4102. Las referencias de estas coquillas son las mismas, añadiéndoles una "A". Por ejemplo: SH-09X015-A, sirviéndose contra pedido específico.

Tubería de Cobre Cu		Tubería de Hierro Fe		Coquilla AF/Armaflex Ø Int. min/máx mm.	SH Espesor Nominal 27,0 mm.			SH Espesor Nominal 36,0 mm.		
Ø Exterior mm.	Pulgadas	Pulgadas	Ø Exterior mm.		Ref.	metros/ cartón	ESTÁNDAR	Ref.	metros/ cartón	ESTÁNDAR
							€/m.l.			€/m.l.
12	1/2	-	-	13,0 - 14,5						
15	5/8	1/4	13,5	16,0 - 17,5						
18	3/4	3/8	17,2	19,0 - 20,5						
22	7/8	1/2	21,3	23,0 - 24,5						
28	1 1/8	3/4	26,9	29,0 - 30,5						
35	1 3/8	1	33,7	36,0 - 38,0						
42	1 5/8	1 1/4	42,4	43,5 - 45,5	SH-27X042	18	7,81			
-	-	1 1/2	48,3	49,5 - 51,5	SH-27X048	18	8,34			
54	2 1/8	-	54,0	55,0 - 57,0	SH-27X054	16	9,00			
-	-	2	60,3	61,5 - 63,5	SH-27X060	12	9,62			
76,1	-	2 1/2	76,1	77,0 - 79,5	SH-27X076	12	11,18			
88,9	3 1/2	3	88,9	90,5 - 93,5	SH-27X089	10	12,55			
-	3 5/8	3 1/2	101,6/104,3	102,0 - 105,0						
114	-	4	114,3	115,0 - 119,0	SH-27X114	8	16,28	SH-36X114	6	21,41
-	-	5	139,7	141,0 - 146,0	SH-27X140	6	17,75	SH-36X140	4	22,82
159	-	-	160,0	161,0 - 166,0	SH-27X160	6	23,27	SH-36X160	4	30,15
-	-	6	165,1	166,0 - 171,0	SH-27X168	6	24,64	SH-36X168	4	31,65
Tolerancia de espesor					± 2,5 mm			± 3,0 mm		

III.- Bombas de circulación.

<i>Magna 60 -120 F</i> (circuito primario)	<i>Alpha PRO 25 – 60</i> (circuito secundario)
Datos técnicos Caudal, Q: máx. 90 m ³ /h Altura, H: máx. 12 m Temp. líquido: +15°C a +110°C Presión sistema: máx. 10 bar Aplicaciones Circulación de agua caliente en <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de calefacción para bloques de viviendas, colegios, hospitales, hoteles, industria, etc. Características y ventajas <ul style="list-style-type: none"> • Silenciosa • Bajo consumo Clasificación energética: Clase A • Amplia gama • Ajuste automático del funcionamiento • Instalación sencilla, sin necesidad de equipos o ajustes adicionales • Selección segura. Opcional <ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo de bomba de acero inoxidable • Versiones dobles • Control remoto inalámbrico, R100 • Comunicación GENIbus o LON. 	Datos técnicos Caudal, Q: máx. 10 m ³ /h Altura, H: máx. 12 m Temp. líquido: –25°C a +110°C Presión sistema: máx. 10 bar Aplicaciones Circulación de agua caliente o fría en <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de calefacción • Sistemas de agua caliente sanitaria • Sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Características y ventajas <ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo Clasificación energética clase A a C • Libre de mantenimiento • Silenciosa • Amplia gama. Opcional <ul style="list-style-type: none"> • Ajuste automático del funcionamiento • Pantalla de consumo instantáneo • Ajuste automático de funcionamiento nocturno • Instalación fácil, enchufe externo para conexión eléctrica • Ajuste para funcionar con 1, 2 ó 3 velocidades • Versiones dobles.

La gama MAGNA - UPE Serie 2000 está diseñada para sistemas de calefacción de hasta 2100 Kw. y sistemas de agua caliente sanitaria. El líquido bombeado debe estar limpio, ser ligero, no agresivo, que no contenga partículas sólidas, fibras o aceites minerales.

Flexibilidad

Las bombas permiten ajustar su funcionamiento gracias a su control de velocidad.

Ajustando el control en la posición Presión Proporcional, la altura se ajusta continuamente según la demanda de agua del sistema. En la posición Presión Constante, la altura se mantiene constante independientemente de la demanda de agua. En opción de funcionamiento AUTO de las bombas MAGNA, la bomba reduce automáticamente el punto de ajuste fijado en fábrica lo adecua a las características actuales del sistema.

Cuando se activa el funcionamiento nocturno automático, la bomba cambia automáticamente entre funcionamiento normal y nocturno. Este ajuste se produce por el cambio en la temperatura de la tubería de alimentación medida por el sensor de temperatura integrado.

Confort

El control de velocidad ajusta el funcionamiento a la demanda actual del sistema por lo que evita el funcionamiento innecesario reduciendo al mínimo el ruido ocasionado.

Consumo reducido

El motor a imanes permanentes de MAGNA UPE permite ahorrar un 25% del consumo eléctrico de un motor asíncrono clásico de la misma potencia. Los imanes sustituyen a la energía eléctrica para magnetizar el motor optimizando su rendimiento. El control de velocidad junto con una adecuada fijación de las distintas velocidades, proporcionan a la MAGNA UPE un ahorro energético cercano al 78% en relación con una bomba circuladora clásica de velocidad fija, gracias a la activación del régimen nocturno.

MAGNA-UPE Serie 2000



MAGNA -UPE sencilla



MAGNA-UPE Doble



UPE Serie 2000 sencilla

CARACTERÍSTICAS / CONSTRUCCIONES

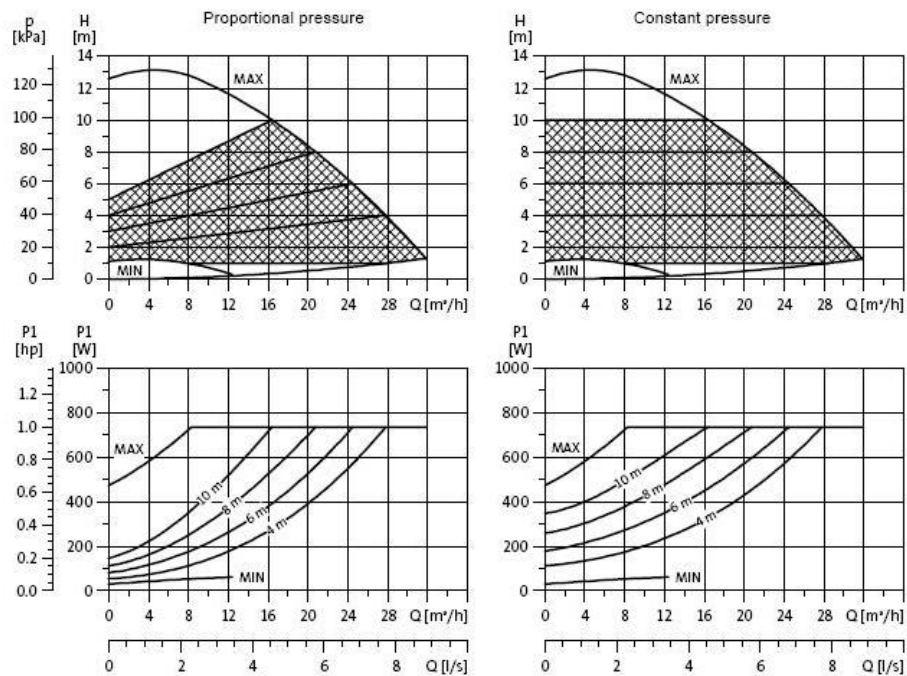
Las bombas circuladoras Serie 2000 son del tipo rotor encapsulado y se caracterizan por:

- Disponible versiones en acero inoxidable (MAGNA) o bronce (UPE).
- Sensor de presión diferencial y temperatura.
- El motor de UPE monofásica es asíncrono de 2 polos de tipo jaula de ardilla con filtro radioeléctrico.
- MAGNA UPE monofásica con un motor sincrónico de 4 u 8 polos de imán permanente.
- La UPE trifásica tiene un motor asíncrono de 2 polos tipo jaula de ardilla con un convertidor de frecuencia integrado.
- La velocidad se calcula mediante una bobina de inducción incorporada en el bobinado del estator.
- Panel de control integrado en la caja de conexiones.

Technical data

MAGNA 50-120 F

MAGNA 50-120 F

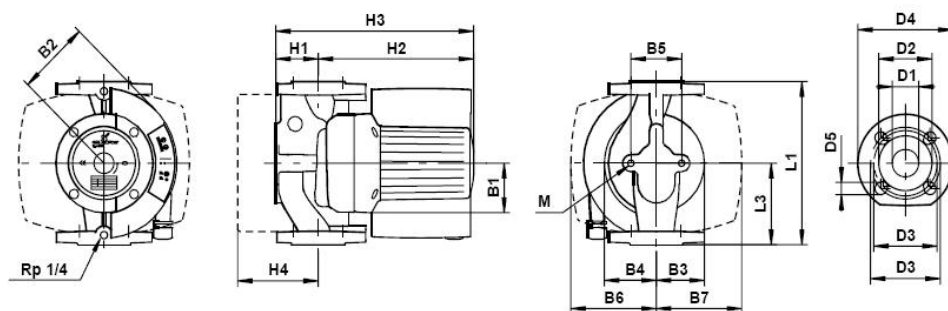


TM02 8814 2204

Electrical data

U_n [V]		P_1 [W]	$I_{1/1}$ [A]
1 x 230-240 V	Min.	35	0.28
	Max.	800	3.5

MAGNA 50-120 F is also available with stainless-steel housing, type N.



TM02 0239 5101

Dimensions and weights

Pump type PN 6 / PN 10	Dimensions [mm]																			Weights [kg]		Ship. vol.
	L1	L3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	D1	D2	D3	D4	D5	M	Net	Gross	[m³]
MAGNA 50-120 F	280	140	77	125	84	98	96	130	130	78	245	325	128	50	102	110/125	165	14/19	M12	22	24	0.043

Como la ALPHA+, la circuladora ALPHA PRO adapta continuamente su funcionamiento a las condiciones del sistema y está perfectamente adecuada para todas las aplicaciones de calefacción, especialmente con variación de caudal.

Dispone de las mismas características de ajuste que la ALPHA+, presión constante o proporcional y velocidad constante. Su funcionamiento se ha optimizado para:

- Minimizar el consumo energético: la combinación del convertidor de frecuencia con un motor de imán permanente asegura a la ALPHA PRO la clase A en la clasificación energética.
 - 6 W (P_1 mín.) a 25 W (P_1 máx.) para las ALPHA PRO xx - 40
 - 6 W (P_1 mín.) a 50 W (P_1 máx.) para las ALPHA PRO xx - 60
- Informar al usuario sobre el funcionamiento: la pantalla digital de la bomba informa al instalador de que la bomba ha sido correctamente instalada. Tras la instalación, la pantalla muestra la potencia de entrada actual.
- Adaptarse a las instalaciones gestionadas por programación: en el panel de control se puede activar automáticamente el funcionamiento reducido durante la noche.

ALPHA PRO



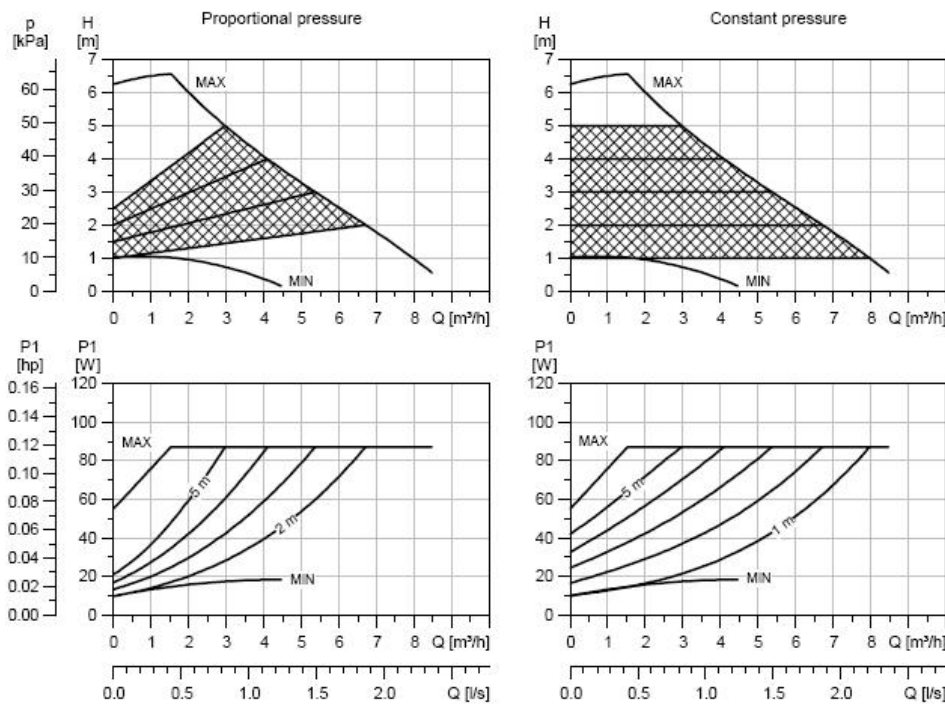
CARACTERÍSTICAS / CONSTRUCCIONES

- Eje y cojinetes radiales en cerámica
- Soporte de cojinete en acero inoxidable
- Rotor y carcasa del rotor en acero inoxidable férnico
- Cuerpo bomba de fundición o bronce (versión B)
- Protección térmica incorporada, el motor no necesita protección externa
- Temperatura del líquido: de 2° c a 110°c
- Grado de protección IP 42 - Clase de aislamiento F
- Presión máxima de trabajo: 10 bar
- Conexión a la red eléctrica sólo con insertar el enchufe en la toma.

Technical data

MAGNA 25-60

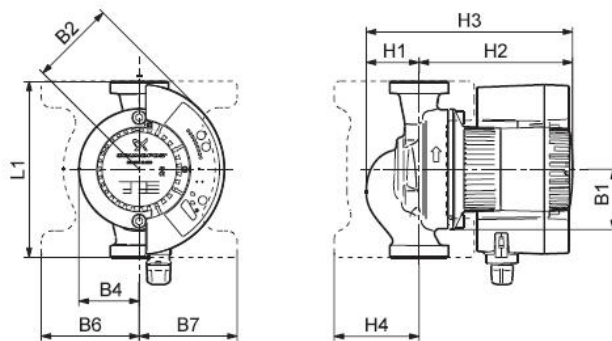
MAGNA 25-60



TM03 1469 2205

Electrical data

U_n [V]		P_1 [W]	$I_{1/1}$ [A]
1 x 230-240 V	Min.	10	0.09
	Max.	85	0.60



TMO3 1234 1405

Dimensions and weights

Pump type	Dimensions [mm]												Weight [kg]		Ship. vol. [m ³]
	L1	B1	B2	B4	B6	B7	H1	H2	H3	H4	D1	G	Gross		
MAGNA 25-60	180	62	87	62	100	100	54	157	211	85	25	1 1/2	5.3		0.012

IV.- Vaso de expansión.**SALVADOR ESCODA S.A.®**
 Rosselló, 430-432
 Tel. 93 446 27 80
 Fax 93 456 90 32
 08025 BARCELONA

**Catálogo
Técnico**
**04 VASOS DE EXPANSION
DE MEMBRANA FIJA**
APLICACIONES

Los vasos de expansión de membrana fija, están destinados para trabajar en instalaciones de calefacción y en sistemas de refrigeración en circuito cerrado y permiten absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de la temperatura del fluido calefactor.

CARACTERISTICAS

- La temperatura máxima de funcionamiento es de -10°C $+110^{\circ}\text{C}$.
- La membrana es de caucho sintético, de acuerdo con las características físicas y mecánicas de las normas DIN 4.807.
- Estos recipientes están homologados y fabricados cumpliendo las normas vigentes. Se suministran con el certificado del ensayo correspondiente a que han sido sometidos.
- Exteriormente los vasos van pintados en color rojo RAL-3.013.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES**

	Código	Tipo	Capacidad (litros)	Presión. máx. trabajo (bar)	Dimensiones aproximadas		Conexión de agua Ø DIN 259	Presión precarga (bar)	Dimensiones del embalaje (mm)
					D (mm)	H (mm)			
	AC 04 000	5 CMF	5	4	200	240	3/4"	1,5	200 x 200 x 240
	AC 04 002	8 CMF	8	4	200	328	3/4"	1,5	200 x 200 x 330
	AC 04 003	12 CMF	12	4	270	304	3/4"	1,5	270 x 270 x 300
	AC 04 004	18 CMF	18	4	270	405	3/4"	1,5	270 x 270 x 400
	AC 04 006	35 CMF	35	4	360	465	3/4"	1,5	360 x 360 x 460
	AC 04 007	50 CMF	50	4	360	628	3/4"	1,5	360 x 360 x 640
	AC 04 015	80 CMF	80	6	485	585	1"	1,5	485 x 485 x 585
	AC 04 009	100 CMF	100	6	485	660	1"	1,5	485 x 485 x 660
	AC 04 010	140 CMF	140	6	485	945	1"	1,5	485 x 485 x 950
	AC 04 011	200 CMF	200	6	600	860	1"	1,5	600 x 600 x 890
	AC 04 012	250 CMF	250	6	600	1.095	1"	1,5	600 x 600 x 1120
	AC 04 013	300 CMF	300	6	600	1.270	1"	1,5	
	AC 04 014	400 CMF	400	6	600	1.510	1"	1,5	

V.- Intercambiador de calor.

CB14-77

CB14-77 - Brazed Plate Heat Exchanger

Working principles

The heating surface consists of thin corrugated metal plates stacked on top of each other. Channels are formed between the plates and corner ports are arranged so that the two media flow through alternate channels, always in counter-current flow. The media are kept in the unit by a brazed seal around the edge of the plates. The contact points of the plates are also brazed to withstand the pressure of the media handled

Standard design

The plate pack is covered by cover plates. Connections are located in the front or rear cover plate. The channel plates are corrugated to improve heat transfer efficiency and to make them rigid.

Standard materials

Cover plates

Stainless steel AISI 316

Connections

Stainless steel AISI 316

Plates

Stainless steel AISI 316

Brazing material

Copper

Particulars required for quotation

To enable Alfa Laval's representative to make a specific quotation, enquiries should be accompanied by the following particulars:

- flow rates or heat load required
- temperature program
- physical properties of liquids in question
- desired working pressure
- maximum permitted pressure drop



Advantages of brazed plate heat exchangers in Industry and HVAC&R

The Alfa Laval Brazed plate heat exchangers (BHE) have several advantages over traditional heat exchangers in Industrial and HVAC&R applications.

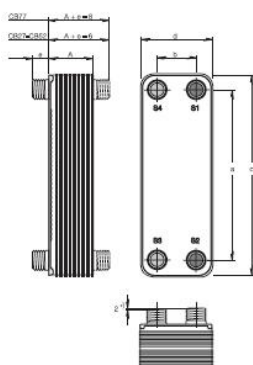
- The high heat transfer efficiency of the BHE makes it extremely compact and also easy to install in places where space is limited.
- The unit has no gaskets and is therefore suitable in applications where temperature and/or pressure is high e.g. in district heating.
- The Alfa Laval supply system reassures that, no matter where you are on the globe, the BHE units are available with a very short delivery time.

Standard Data

	CB14	CB27	CB52	CB76	CB77
Min. working temperature **)	-160°C	-160°C	-160°C	-160°C	-160°C
Max. working temperature **)	175°C	175°C	175°C	175°C	175°C
Min. working pressure **)	Vacuum	Vacuum	Vacuum	Vacuum	Vacuum
Max. working pressure, S3S4/S1S2 **)	32 bar	32 bar	32 bar	A,E,H: 32 bar	25/16 bar
				L.M: 25 bar	
Volume pr. channel, litres	0.02	0.05	0.095	A: 0.18/0.25	0.25
				E: 0.18/0.18	
				C.M.H: 0.25/0.25	
Max. flowrate, S3S4/S1S2. *)	3.6 m³/h	8.1/12.7 m³/h	8.1/12.7 m³/h	39 m³/h	39/63 m³/h
Standard number of plates H,M,L	14,20	10,18,24	10-100	20-150	20-150
	30,40	34,50,70	(10,20,...)	(20,30,...)	(20,30,...)
		100,120			

*) Water at 5 m/s (connection velocity) **) According to European pressure vessel Directive (PED) (CE-Approval)

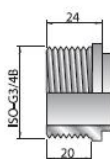
Standard dimensions (mm)



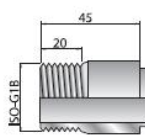
Type	a	b	c	d	e	A	Weight kg
CB14	172	42	208	78	24	$8 + n \times 2.35$	$0.7 + n \times 0.06$
CB27	250	50	310	112	45	$9 + n \times 2.40$	$1.2 + n \times 0.13$
CB52	466	50	526	112	45	$10 + n \times 2.40$	$1.9 + n \times 0.23$
CB76	519	92	618	191	48	A: $10 + 2.5 \times n$ E: $10 + 2.2 \times n$	$7.0 + n \times 0.44$
						H,L,M: $10 + 2.85 \times n$	
CB77	519	92	618	191	48	$10 + n \times 2.85$	$7.0 + n \times 0.44$

*) Not valid for CB77

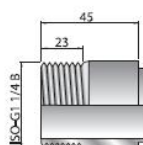
(n = number of plates)



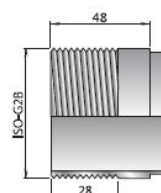
CB14 (S1-S4)



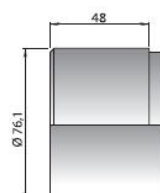
CB27, CB52 (S3, S4)



CB27, CB52 (S1, S2)



CB76 (S1-S4)
CB77 (S3, S4)



CB77 (S1, S2)

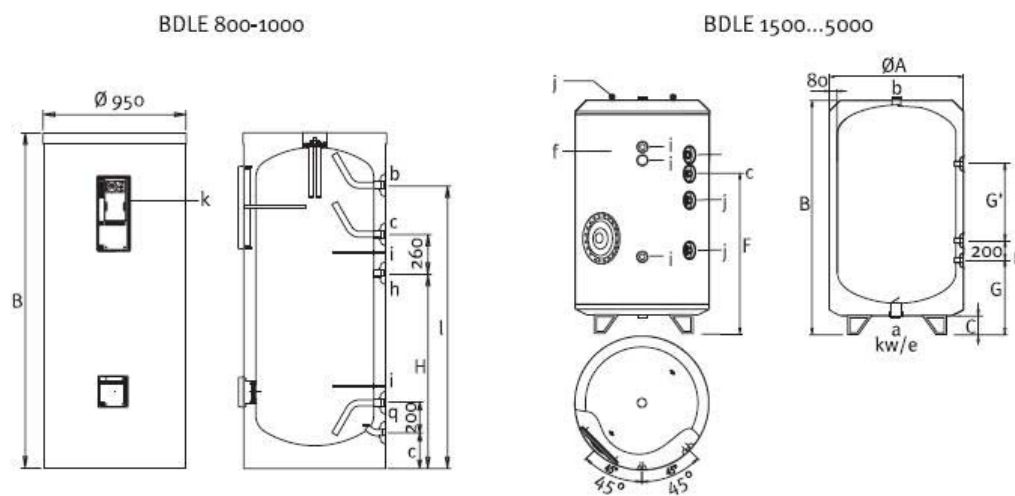
VI.- Acumuladores.

Acumuladores BDLE

PARA INSTALACIONES COLECTIVAS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Modelos de 800 y 1.000 litros de acero vitrificado s/DIN 4753
- Modelos de 1.500 a 5.000 litros de acero vitrificado con revestimiento epoxídico de calidad alimentaria.
- Modelos de 1.500 a 5.000 litros con protección catódica por ánodo permanente
- Modelos de 1.500 a 5.000 litros con boca de hombre 400 mm (opcional en 800 y 1.000 litros).



a: Entrada agua fría/desagüe b: Salida ACS c: Recirculación h: Conexión lateral i: Vaina sensores j: Conexión protección catódica k: Termómetro
l: Conexión resistencia de apoyo l': Conexión resistencia de apoyo solar

	BDLE 800	BDLE 1000	BDLE 1500	BDLE 2000	BDLE 2500	BDLE 3000	BDLE 3500	BDLE 4000	BDLE 5000
a/b	1-1/2"	1-1/2"	2"	2"	3"	3"	3"	3"	3"
c	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"
h/i	1-1/2"	1-1/2"	-	-	-	-	-	-	-
j	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
k			1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"	1-1/2"

Cotas	Unidad	BDLE 800	BDLE 1000	BDLE 1500	BDLE 2000	BDLE 2500	BDLE 3000	BDLE 3500	BDLE 4000	BDLE 5000
A	mm	950	950	1.360	1.360	1.660	1.660	1.660	1.910	1.910
B	mm	1.840	2.250	1.850	2.300	2.035	2.325	2.610	2.345	2.750
C	mm	100	240	200	200	235	235	235	195	195
F	mm	-	-	1.110	1.555	1.250	1.540	1.755	1.450	1.805
G	mm	-	-	680	680	805	805	805	875	875
G'	mm	-	-	330	780	300	590	875	465	870
H	mm	1.020	1.315	-	-	-	-	-	-	-
I	mm	1.510	1.900	-	-	-	-	-	-	-

Características	Unidad	BDLE 800	BDLE 1000	BDLE 1500	BDLE 2000	BDLE 2500	BDLE 3000	BDLE 3500	BDLE 4000	BDLE 5000
Capacidad	L	800	930	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500	4.000	5.000
Tª máxima acumulador	°C	90	90	80	80	80	80	80	80	80
Presión máxima depósito	bar	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Peso	kg	130	155	380	450	630	695	765	935	1.065

Referencia	0010004060	0010004061	0010004062	0010004063	0010004064	0010004065	0010004066	0010004067	0010004068
€	2.071,00	2.361,00	3.404,00	3.769,00	4.505,00	4.762,00	5.651,00	6.006,00	7.292,00

Consultar modelos en acero inoxidable.



VII.- Conducciones del circuito secundario.

fusiotherm®

6

Componentes del sistema

Tubería **fusiotherm® S3,2 / SDR 7,4**

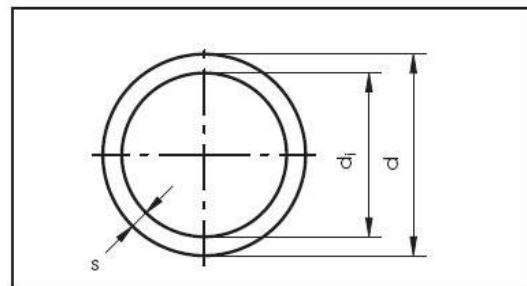
Material : **fusiotherm® PP-R (80)**
Serie : S3,2 / SDR 7,4

según : DIN 8077/78 / EN ISO15874
Nº de Certificado : SKZ A 175

Forma de suministro : barras de 4, * en rollos
Ud. de suministro : en metros
Color : verde

Campos de aplicación:

La relación entre temperatura de trabajo, presión y años de funcionamiento se detalla en el capítulo 1.



Product approved by **GREENPEACE**

Tubería			Diámetro	Espesor de pared	Diámetro interior	Capacidad	Peso	
Art. Nº	Dimensión	Ud./Paq.	d mm	s mm	d _i mm	l/m	kg/m	DN
10806	*16 mm	100	16	2,2	11,6	0,106	0,096	12
10808	20 mm	100	20	2,8	14,4	0,163	0,149	15
10810	25 mm	100	25	3,5	18,0	0,254	0,232	20
10812	32 mm	40	32	4,4	23,2	0,423	0,372	25
10814	40 mm	40	40	5,5	29,0	0,661	0,578	32
10816	50 mm	20	50	6,9	36,2	1,029	0,901	40
10818	63 mm	20	63	8,6	45,8	1,647	1,416	-
10820	75 mm	20	75	10,3	54,4	2,324	2,015	50
10822	90 mm	12	90	12,3	65,4	3,359	2,886	65
10824	110 mm	8	110	15,1	79,8	5,001	4,318	80
Los siguientes artículos * se suministran en rollos:								
10906	*16 mm	100	16	2,2	11,6	0,106	0,096	12
10908	20 mm	100	20	2,8	14,4	0,163	0,149	15



5

Datos de Cálculo

**Pérdida de presión por fricción R y velocidad v
dependiendo del caudal \dot{V}**

20°

Tuberías compuestas faser fusiotherm® S3,2 / SDR 7,4

Tuberías compuestas stabi fusiotherm® S3,2 / SDR 7,4

Temperatura: 20°C

Rugosidad: 0,0070 mm

Densidad: 998,2 kg/m³

Viscosidad: 1,004 x 10⁻⁶ m²/s

\dot{V}	Di- men- sión	16,0 mm	20,0 mm	25,0 mm	32,0 mm	40,0 mm	50,0 mm	63,0 mm	75,0 mm	90,0 mm	110,0 mm	125,0 mm	160,0 mm
0,01 l/s	0,60 l/min	R v	0,24 0,09m/s	0,09 0,06m/s	0,03 0,04m/s	0,01 0,02m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,00m/s	0,00 0,00m/s	0,00 0,00m/s	0,00 0,00m/s
0,02 l/s	1,20 l/min	R v	0,75 0,19m/s	0,27 0,12m/s	0,10 0,08m/s	0,03 0,05m/s	0,01 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,00m/s	0,00 0,00m/s
0,03 l/s	1,80 l/min	R v	1,49 0,28m/s	0,54 0,18m/s	0,19 0,12m/s	0,06 0,07m/s	0,02 0,05m/s	0,01 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,00m/s
0,04 l/s	2,40 l/min	R v	2,43 0,38m/s	0,88 0,25m/s	0,31 0,16m/s	0,09 0,09m/s	0,03 0,06m/s	0,01 0,04m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,00m/s
0,05 l/s	3,00 l/min	R v	3,58 0,47m/s	1,28 0,31m/s	0,45 0,20m/s	0,14 0,12m/s	0,05 0,08m/s	0,02 0,05m/s	0,01 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,00m/s
0,06 l/s	3,60 l/min	R v	4,91 0,57m/s	1,76 0,37m/s	0,61 0,24m/s	0,18 0,14m/s	0,06 0,09m/s	0,02 0,06m/s	0,01 0,04m/s	0,00 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s
0,07 l/s	4,20 l/min	R v	6,42 0,66m/s	2,29 0,43m/s	0,80 0,28m/s	0,24 0,17m/s	0,08 0,11m/s	0,03 0,07m/s	0,01 0,04m/s	0,00 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s
0,08 l/s	4,80 l/min	R v	8,10 0,76m/s	2,89 0,49m/s	1,00 0,31m/s	0,30 0,19m/s	0,11 0,12m/s	0,04 0,08m/s	0,01 0,05m/s	0,01 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s	0,00 0,01m/s
0,09 l/s	5,40 l/min	R v	9,96 0,85m/s	3,55 0,55m/s	1,23 0,35m/s	0,37 0,21m/s	0,13 0,14m/s	0,05 0,09m/s	0,02 0,05m/s	0,01 0,04m/s	0,00 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s
0,10 l/s	6,00 l/min	R v	11,99 0,95m/s	4,27 0,61m/s	1,48 0,39m/s	0,44 0,24m/s	0,15 0,15m/s	0,05 0,10m/s	0,02 0,06m/s	0,01 0,04m/s	0,00 0,03m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s
0,12 l/s	7,20 l/min	R v	16,54 1,14m/s	5,87 0,74m/s	2,03 0,47m/s	0,61 0,28m/s	0,21 0,18m/s	0,07 0,12m/s	0,02 0,07m/s	0,01 0,05m/s	0,00 0,04m/s	0,00 0,02m/s	0,00 0,01m/s
0,16 l/s	9,60 l/min	R v	27,56 1,51m/s	9,74 0,98m/s	3,35 0,63m/s	1,00 0,38m/s	0,35 0,24m/s	0,12 0,16m/s	0,04 0,10m/s	0,02 0,07m/s	0,01 0,05m/s	0,00 0,03m/s	0,00 0,02m/s
0,18 l/s	10,8 l/min	R v	34,01 1,70m/s	12,00 1,11m/s	4,12 0,71m/s	1,23 0,43m/s	0,43 0,27m/s	0,15 0,17m/s	0,05 0,11m/s	0,02 0,08m/s	0,01 0,05m/s	0,00 0,04m/s	0,00 0,03m/s
0,20 l/s	12,0 l/min	R v	41,07 1,89m/s	14,47 1,23m/s	4,96 0,79m/s	1,48 0,47m/s	0,51 0,30m/s	0,18 0,19m/s	0,06 0,12m/s	0,03 0,09m/s	0,01 0,06m/s	0,00 0,04m/s	0,00 0,03m/s
0,30 l/s	18,0 l/min	R v	85,35 2,84m/s	29,85 1,84m/s	10,17 1,18m/s	3,01 0,71m/s	1,04 0,45m/s	0,36 0,29m/s	0,12 0,18m/s	0,05 0,13m/s	0,02 0,09m/s	0,01 0,06m/s	0,00 0,05m/s
0,40 l/s	24,0 l/min	R v	144,17 3,78m/s	50,15 2,46m/s	17,00 1,57m/s	5,01 0,95m/s	1,72 0,61m/s	0,60 0,39m/s	0,19 0,24m/s	0,09 0,17m/s	0,04 0,12m/s	0,01 0,08m/s	0,01 0,06m/s
0,50 l/s	30,0 l/min	R v	217,21 4,73m/s	75,21 3,07m/s	25,40 1,96m/s	7,45 1,18m/s	2,55 0,76m/s	0,88 0,49m/s	0,29 0,30m/s	0,13 0,22m/s	0,05 0,15m/s	0,02 0,10m/s	0,01 0,08m/s
0,60 l/s	36,0 l/min	R v	304,25 5,68m/s	104,94 3,68m/s	35,31 2,36m/s	10,33 1,42m/s	3,53 0,91m/s	1,22 0,58m/s	0,40 0,36m/s	0,17 0,26m/s	0,07 0,26m/s	0,03 0,12m/s	0,02 0,09m/s
0,70 l/s	42,0 l/min	R v	405,16 6,62m/s	139,27 4,30m/s	46,72 2,75m/s	13,62 1,66m/s	4,64 1,06m/s	1,60 0,68m/s	0,52 0,42m/s	0,23 0,30m/s	0,10 0,21m/s	0,04 0,14m/s	0,02 0,11m/s
\dot{V} = Caudal (l/s)			R = Pérdida de presión (mbares/m)						v = Velocidad (m/s)				

Art. N.º	Dimensión	ml/ Paq.	€/ml
0010806	16 x 2,2 mm	100 m	1,02
0010808	20 x 2,8 mm	100 m	1,26
0010810	25 x 3,5 mm	100 m	2,13
0010812	32 x 4,4 mm	40 m	3,48
0010814	40 x 5,5 mm	40 m	5,70
0010816	50 x 6,9 mm	20 m	9,50
0010818	63 x 8,6 mm	20 m	14,80
0010820	75 x 10,3 mm	20 m	22,25
0010822	90 x 12,3 mm	12 m	32,20
0010824	110 x 15,1 mm	8 m	47,80
0010826	125 x 17,1 mm	4 m	52,20
0010906	16 x 2,2 mm	100 m	1,02
0010908	20 x 2,8 mm	100 m	1,26

fusiotherm - Tubería Serie 3,2/SDR 7,4

Material: PP - R

Según: DIN 8077/78

UNE EN 15874-1: 2004

UNE EN 15874-2: 2004

Barras: 4 m

* En rollos

* En rollos



VIII.- Sistema de energía de apoyo.

THERMOSYSTEM CONDENS

es una nueva gama de calderas de condensación de **hasta 280 kW** y **altas prestaciones** para instalaciones centralizadas de calefacción y ACS. El sistema admite instalaciones en secuencia de varias calderas para alcanzar potencias de mayor envergadura.

Potencias totales según modelo:	80kW, 120kW, 160kW, 200kW, 240kW, 280kW
Dimensiones y peso reducidos que facilitan su instalación en ubicaciones de otro modo no practicable	
Gran capacidad de modulación :	12% - 100% de la potencia nominal
Alta eficiencia estándar:	110,5%
Funcionamiento silencioso (<50dB)	
Baja emisión de gases :	NOx<60 mg/kWh, CO<20 mg/kWh
Totalmente pre-ensamblada	
Operatividad óptima : reparto automático del funcionamiento de sus componentes según horas de funcionamiento para garantizar un uso homogéneo y óptimo de los mismos	
Conjunto de accesorios para la oferta de un sistema completo	
Posibilidad de funcionamiento en salas cerradas	
Panel de usuario con display alfanumérico para la programación con acceso a todos los parámetros internos	



THERMOSYSTEM CONDENS

El desarrollo de la nueva gama de calderas THERMOSYSTEM CONDENS constituye una novedosa aportación de **Saunier Duval** al mercado de las calderas de pie para soluciones colectivas de calefacción y agua caliente sanitaria.

Las calderas THERMOSYSTEM CONDENS son calderas de condensación de bajas emisiones NO_x, de cámara estanca y tiro forzado y están formadas por módulos térmicos de gas preensamblados, resultando particularmente idónea para funcionamiento con demanda variable. Únicas en su género, estas calderas de alta potencia están diseñadas para trabajar con óptimos resultados en condiciones de funcionamiento de muy baja potencia.

- **Cada unidad de potencia** interna de 40 kW (2 a 7 por caldera según potencia), en fundición de aluminio/magnesio/silicio, está constituida por una cámara de combustión con quemador, ventilador modulante, válvula de gas, dispositivo de encendido y control de la llama, sensor NTC de control de temperatura y termostato de seguridad. El grupo térmico completo cuenta con sensores NTC de control de la temperatura global en los colectores de ida y retorno.
- El **quemador** es de tipo de premezcla total, modulante, con culata metálica, de funcionamiento por radiación.
- La premezcla se produce en la antecámara de combustión. Las calderas además están dotadas de **obturador anti reflujo del gas** de la combustión.
- La **determinación de la potencia instantánea** de funcionamiento viene dada por el microprocesador de comando, con el prefijado de parámetros de comparación entre la temperatura demandada y la requerida.
- El **aire necesario para la óptima combustión** del generador puede tomarse del exterior o directamente del interior del mismo local de instalación de la caldera.
- La **potencia máxima útil nominal** de cada uno de los elementos internos es de 40 kW y la mínima de 12 kW. Todos ellos, por consiguiente, están en disposición de proporcionar de un modo calibrado la potencia requerida en el momento preciso, asegurando el mejor rendimiento, optimizando el consumo y por último con un mínimo impacto ambiental merced a unas emisiones de gases nocivos extremadamente reducidas.

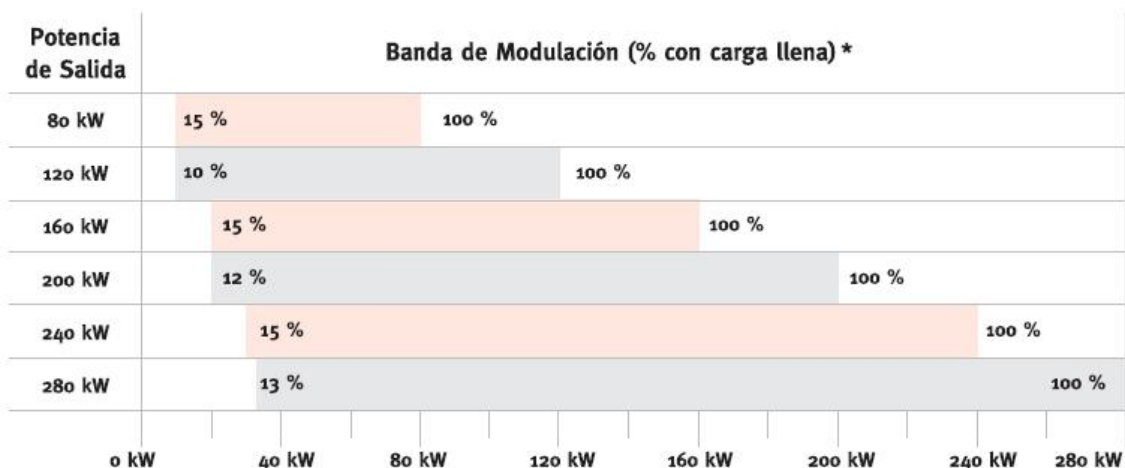
Está previsto el funcionamiento en cascada de dos o más grupos térmicos. La configuración en cascada de más módulos resulta extremadamente simple de instalar, requiere poco mantenimiento y proporciona las más altas prestaciones.

- La **gestión** de THERMOSYSTEM CONDENS resulta particularmente económica y silenciosa (<50dB) en la máxima potencia y resulta indicada para instalaciones con soluciones colectivas de aporte de calor y generación de agua caliente sanitaria, sea en viviendas, edificios públicos, oficinas, centros educativos o sanitarios, etc.

Tipo de Caldera	Tipo Gas	Potencia en kW
F 80/2	I2H(G20-gas natural H)	12,5-83,5 (40/30 °C) 11,6-77,4 (80/60 °C)
F 120/2		12,5-125,0 (40/30 °C) 11,6-116,6 (80/60 °C)
F 160/2		12,5-167,0 (40/30 °C) 11,6-155,9 (80/60 °C)
F 200/2		12,5-209,0 (40/30 °C) 11,6-195,5 (80/60 °C)
F 240/2		12,5-251,0 (40/30 °C) 11,6-235,4 (80/60 °C)
F 280/2		12,5-292,0 (40/30 °C) 11,6-275,5 (80/60 °C)

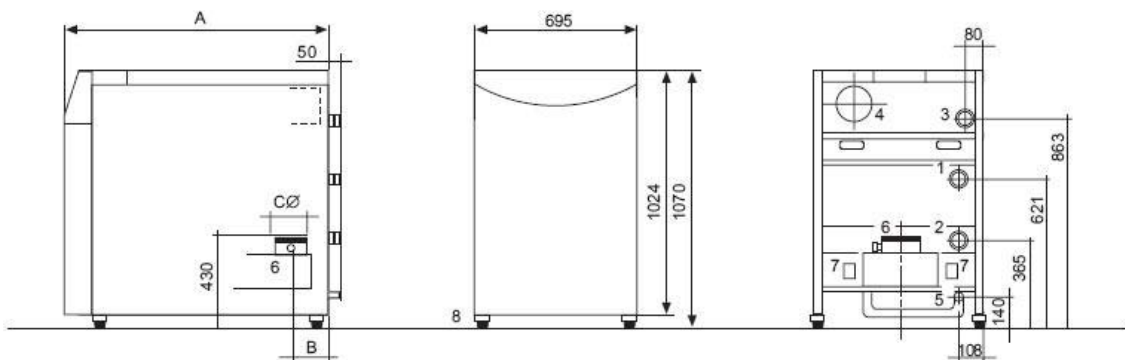
Gracias a sus características constructivas, la caldera THERMOSYSTEM CONDENS posee un amplio rango de modulación, que minimiza el consumo de energía, ajustándolo a las necesidades reales de la instalación y alargando la duración del equipo.

- THERMOSYSTEM CONDENS tiene de 2 a 7 unidades de potencia modulantes en función del tamaño y potencia de la caldera.
- Cada quemador plano modulante puede operar en un rango de 12 a 40 kW.
- La amplia banda de modulación posibilita un ajuste óptimo a la demanda calorífica, una eficiencia energética óptima y una operatividad muy eficiente.
- Se aseguran dilatados periodos de marcha de los quemadores en un menor número de ciclos operativos marcha-paro.
- La unidad de aire (formada por toma de gas, quemador con su capó, ventilador, presostato de aire, válvula de gas y control de ignición) controla electrónicamente el funcionamiento del ventilador.



(*) Todos los modelos tienen una potencia mínima de 12 kW, lo que amplía la banda de modulación en el caso de THERMOSYSTEM CONDENS F 280/2 a un 95,8% (desde 12 a 280 kW). Sin embargo, criterios de eficiencia energética aconsejan limitar funcionamientos a potencias excesivamente reducidas tal y como se explica en los apartados siguientes.

Las reducidas dimensiones y peso de la THERMOSYSTEM CONDENS permiten una **sencilla ubicación e instalación** en salas de calderas de tamaño limitado (también es posible su ubicación en tejado)



Thermosystem Condens	A (mm)	Superficie base (m ²)	Peso (Kg)	B (mm)	C (mm)
F 80/2	995	0.69	166	142	150
F 120/2	995	0.69	193	142	150
F 160/2	1325	0.92	249	142	150
F 200/2	1325	0.92	288	167	200
F 240/2	1605	1.12	334	167	200
F 280/2	1605	1.12	365	167	200

- 1- Conexión ida calefacción R 2"
- 2- Conexión retorno calefacción R 2"
- 3- Conexión gas R 6/4"
- 4- Admisión aire 150 mm
- 5- Conducto evacuación de condensados 40 mm
- 6- Conexión salida productos combustión ØC
- 7- Mazo cables 230v/24V
- 8- Pies ajustables caldera 0-20 mm

Las **principales ventajas** que se derivan de su diseño compacto son:

- Facilidad de transporte e instalación.
- Puede pasar por cualquier puerta de anchura estándar, incluso el modelo de mayor potencia.
- Todos los modelos, independientemente de su potencia, poseen la misma anchura y altura. Sólo varía su profundidad.
- Puede ubicarse en tejado debido a su mínima superficie y bajo peso.
- El ratio potencia-superficie de la base es óptimo: 80kW-0,7m²; 280kW-1,1m².
- Sin competencia en facilidad de suministro y ubicación.
- Pies ajustables.

FÁCIL INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

CALDERA COMPLETAMENTE PRE-ENSAMBLADA



La caldera se monta y ensambla de forma íntegra en fábrica y se suministra en un cajón de madera y su palet, de tal manera que para su instalación únicamente tiene que ser conectada a la toma de gas, humos, etc.

No precisa labores de montaje, lo que reduce el tiempo y coste de la instalación.

Posee pies ajustables.

Todo su diseño está concebido para facilitar el acceso al interior de la caldera y todos sus componentes. El acceso al interior se realiza fácilmente soltando únicamente dos tornillos para el ensamblaje/desmontaje de las tapas.

FÁCIL MANTENIMIENTO

THERMOSYSTEM CONDENS está diseñada de tal modo que sea posible un **rápido y sencillo acceso a cada uno de los componentes** a fin de facilitar su mantenimiento.

Tomas de gas con conectores flexibles.

La salida del colector de condensados puede extraerse para su limpieza.

Los ventiladores pueden manipularse sin necesidad de desmontar la unidad de aire gracias a su diseño de fácil acceso.

Utilización de los mismos componentes en toda la gama de calderas: quemador plano modulante, ventiladores, válvulas de gas e intercambiador de calor en “V” compacto de alta eficiencia.

El stock de repuestos requeridos es mínimo.

IX.- Otros elementos.

A) Válvula de seguridad.

Operation
After changing the system and bringing the boiler up to maximum temperature should the expansion vessel be unable to take up the extra pressure, the SM 120 will operate (the set pressure would normally be 1 bar above static pressure).
The functioning of the security valve should be checked yearly by an expert.
The set pressure and the capacity of the security valve are stamped on top of the safety cap inside the red plastic button.

Guarantee:
This fitting was tested before leaving works. The guarantee covers damages caused by faulty material or fabrication. The guarantee lapses when the security cap is damaged, in case of improper handling or normal wear.
When claiming the guarantee the complete fitting has to be sent to the factory.

Soupape de sûreté à membrane SM 120

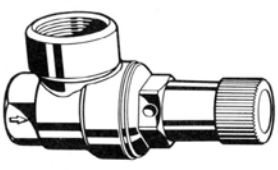
La soupape de sûreté SM 120 a été spécialement développée pour les systèmes de chauffages fermés (température maximale: 110 °C). Raccordement: R 1/2" à R 1 1/4". Le dimensionnement de la soupape se fait toujours pas rapport à la tubulure d'entrée. Pression minimale de levée: 2,5 bar.

Lors du fonctionnement normal du système de chauffage, la soupape de sûreté n'agit pas. Elle intervient par contre en cas de défaillance des autres dispositifs de réglage et de limitation, normalement prévus dans l'installation. C'est la raison pour laquelle la soupape de sûreté doit être en mesure d'évacuer sous forme de vapeur, en cas de besoin, la puissance calorifique totale du générateur.

La pression de levée doit être de 1 bar supérieure à la pression statique de l'installation. La membrane incorporée et le joint de calpet résistent à l'eau surchauffée et à la vapeur jusqu'à une température de 140 °C.

Entrée	R 1/2"	3/4"	1"	1 1/4"
Sortie	R 3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"
Puissance en Kw	50	100	200	350
Puissance en Kcal/h	45000	90000	175000	300000

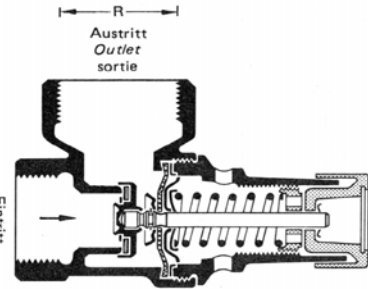
Honeywell
Braukmann
Einbau-Anweisung
Installation Instruction
Instructions de montage



SM 120

Membran-Sicherheitsventil
Diaphragm Safety Valve
Soupape de sûreté à membrane

EB-SM 120 2751400



Eckausführung
Ange Paßform
Modelle eckuerre

Membran-Sicherheitsventil SM 120 mit vergrößertem Austritt

bauteilgeprüft

Für geschlossene Heizungsanlagen nach DIN 4751 Bl. 2, mit Membran-Ausdehnungsgefäß und Vorlauftemperaturen bis 110 °C, R $\frac{1}{2}$ " bis 1 $\frac{1}{2}$ ", nicht für Warmwasserbereiter, Gehäuse und Federhaube aus Messing, Ansprechdruck 2,5 bar. Als Ventilgröße gilt die Größe des Eintrittsanschlusses.

Bei normaler Funktion der Heizungsanlage tritt das Membran-Sicherheitsventil nicht in Tätigkeit, sondern nur dann, wenn die thermostatischen Regel- und Begrenzungsrichtungen versagen. Das Sicherheitsventil muß daher imstande sein, im Notfall die gesamte Heizleistung des Wärmeerzeugers in Form von Dampf abzulassen.

Der Einstelldruck soll 1 bar höher liegen als der statische Druck der Anlage. Die eingebaute Membrane und die Kegelichtung sind gegen Heißwasser und Dampf bis 140 °C beständig.

Eintritt	R	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	1"	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "
Austritt	R	$\frac{3}{4}$ "	1"	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	
Leistung in kW	50	100	200	350		
Leistung in kcal/h	45000	90000	175000	300000		

Einbau

Die Sicherheitsventile müssen sich im Heizraum befinden und dort gut zugänglich sein. Sie dürfen durch Absperrungen nicht unwirksam gemacht werden können. Sie müssen am höchsten Punkt des Wärmeerzeugers oder am Vorlauf in unmittelbarer Nähe des Wärmeerzeugers angebracht sein. Der Einbau von Schutzfänger oder anderen Verengungen in die Zuführungsleitung zum Sicherheitsventil ist unzulässig. Die Sicherheitsventile müssen senkrecht und unter Beachtung der Pfeilrichtung mittels einer höchstens 1 m langen und geraden Verbindungsleitung in Größe des Sicherheitsventil-Eintrittsquerschnittes eingebaut sein. Zur Verhinderung von Ablagerungen sind waagerechte Verbindungsleitungen zu vermeiden.

Die Abblaseleitung muß in Größe des Sicherheitsventil Austrittsquerschnittes ausgeführt sein und soll höchstens 2 Bogen aufweisen und darf höchstens 2 m lang sein. Werden aus zwingenden Gründen mehr Bogen oder eine größere Länge erforderlich, so muß die gesamte Abblaseleitung eine Nennweite größer ausgeführt sein. Mehr als 3 Bogen sowie eine Länge über 4 m sind unzulässig. Die Abblaseleitung muß mit Gefälle verlegt sein. Ihre Mündung muß frei, beobachtbar und so verlegt sein, daß beim Abblasen Personen nicht gefährdet werden können. Mindestens die Abblaseleitung in eine Ablaufleitung mit Trichter, so muß die Ablaufleitung mindestens den doppelten Querschnitt des Ventileintrittes haben.

Inbetriebnahme:

Bei Neuinbetriebnahme der Anlage ist der Kessel so weit aufzufüllen, bis der statische Druck der Anlage erreicht ist. Bei der ersten Beheizung ist der Kessel auf die max. Heiztemperatur zu bringen. Dabei darf kein höherer Druckanstieg als 2 bar eintreten. Tritt ein höherer Druck ein, so ist das Ausdehnungsgefäß zu klein dimensioniert.

Die Funktion des Sicherheitsventiles sollte jährlich von einem Fachmann überprüft werden.

Der Ansprechdruck und die Leistung des Sicherheitsventiles sind auf der Sicherungsskappe, die sich in dem roten Kunststoffknopf befindet, eingepreßt.

Gewährleistung:

Diese Armatur wurde vor Verlassen des Werkes geprüft. Die Gewährleistung erstreckt sich auf Schäden aus Werkstoff- und Fabrikationsfehlern. Bei Beschädigung der Sicherungsskappe, ungeschickter Behandlung oder normalem Verschleiß erlischt die Gewährleistung.

Bei Inanspruchnahme der Gewährleistung muß die vollständige Armatur dem Werk eingesandt werden.

Diaphragm Safety Valve with enlarged outlet

approved by Vd TÜV

For closed heating installations according to German Standard 4751, page 2, with diaphragm expansion tank and primary flow temperature up to 110 °C (230 °F), R $\frac{1}{2}$ " to 1 $\frac{1}{2}$ ", not suitable for hot water cylinders or water heaters. Body and spring bonnet of brass, set pressure 2.5 bar. The valve size is determined by the size of the inlet pipe.

Under normal working conditions of the heating installation the diaphragm safety valve is not in operation, it operates only when the thermostatic regulating and limit devices fail. Therefore, this security valve must be capable of discharging the entire thermal capacity of the heat producing unit by means of steam.

The adjusted pressure has to be 1 bar higher than static pressure of the installation. The built-in diaphragm and the cone packing are hot water and steam resisting up to 140 °C (284 °F).

Inlet	R	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	1"	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "
Outlet	R	$\frac{3}{4}$ "	1"	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	
Capacity in kW	50	100	200	350		
Capacity in kcal/h	45000	90000	175000	300000		

Installation:

The security valves must be located in the heating chamber and easily accessible. Shutting-off must not affect their efficiency. They have to be installed at the highest point of the heat producing unit. The installation of strainers or other items narrowing the inlet pipe of the security valve is not permissible. The security valves must be installed in a vertical position, following the direction of the arrow, by means of a straight connection pipe of at most 1 metre length and having the size of the inlet section of the security valve. In order to prevent deposits, horizontal connection pipes are to be avoided.

The blow-off pipe must have the size of the outlet section of the security valve and ought to have at most two bends being at most 2 metres long. If, for imperative reasons, more bends and a greater length become necessary, the entire blow-off pipe must be one size larger. More than three bends as well as a length of over 4 metres are not permissible. The blow-off pipe must be laid in an inclined position, its opening must be free, observable, and laid in such a way that persons are not endangered when blowing-off takes place. If the blow-off pipe opens into a drain with funnel, the drain pipe has to have at least double the size of the inlet section of the valve.

B) Válvula antirretorno.



Válvula antirretorno

RHEA Válvula de retención

Campo de aplicación Para fl uidos en la industria como edifi cación, sector de aguas.....

Presión máxima 10/16 bar

Tipos de bridas PN10, PN16

Rango de temperatura -20°C + 120°C con junta torica en EPDM, -10°C + 160°C con junta torica en Viton

Las válvulas de retención cumplen los requisitos de seguridad del anexo en la directiva europea para equipos de presión 97/23/EG para fl uidos grupo 1 y 2.

C) Termostato diferencial.

Termostato Diferencial para Energía Solar, DTC100/2



Termostato diferencial para el control de la temperatura de acumulación de agua caliente mediante paneles solares, calderas, bombas de calor, etc.
Controla una bomba o válvula de zona en función del diferencial fijado entre la sonda en paneles y la sonda en acumulador.

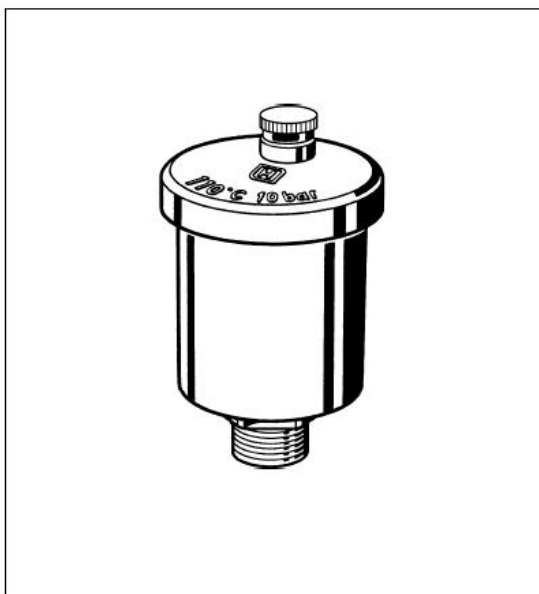
- Temperatura en acumulador ajustable de 10 a 90 grados
- Diferencial de temperatura entre sondas ajustable de 5 a 15 grados

Modos de operación	Sin programación horaria, marcha continua, automático o apagado
Sensores aplicables	KTY10 (incluidos)
Clase de protección	IP40
Montaje	En pared
Fuente alimentación	230 Vac | 4 VA
Intercambio de calor con paneles solares	bomba
Señal de salida	Relé unipolar inversor (SPDT) 230 V / 3 A
Certificados	Marcado CE

D) Purgador de aire.

E121 Automatic Air Vent

PRODUCT DATA



Application

The E121 Air Vent is a reliable automatic venting device and is suitable for venting of air or gas from heating systems or heat process installations.

Features

- With the Z121 A shutoff valve fitted, cleaning or replacement of the seal and inner components can be carried out without draining the system.

Range of Application

Hot water heating systems, radiators, wall and ceiling-mounted air heaters, air collection vessels, pipework circuits, boilers and air separators

Not suitable for mineral oil or liquids with mineral-oil-based additives.

Specifications

Operating temperature	max. 110°C (230°F)
Operating pressure	max. 10 bar (145 P.S.I.)
Connection sizes	R 3/8" and R 1/2"

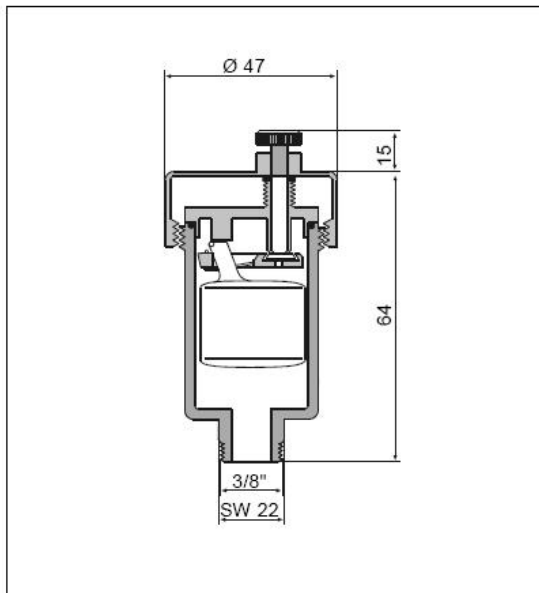
Design

The automatic air vent comprises:

- Housing
- Lid
- Float
- Valve seat seals

Materials

- Brass housing
- Brass lid
- High grade, heat-resistant synthetic material float
- Heat-resistant elastomer seal components



Function

Inside the automatic air vent there is a float which operates a lever according to the water level. When there is no water in the housing, then the float opens the valve. Air can therefore be vented from the heating system during filling. When the heating system has been filled, the inflowing water closes the valve and the vent is shut off. Water usually contains oxygen which bubbles off during operation of the system and collects at the highest point. The automatic air vent must therefore be fitted at the air collection position (highest point on a boiler or pipework circuit).

Versions

- E121-3/8A = Standard version, Connection size R 3/8"
 E121-1/2A = Standard version, Connection size R 1/2"

Shutoff valve



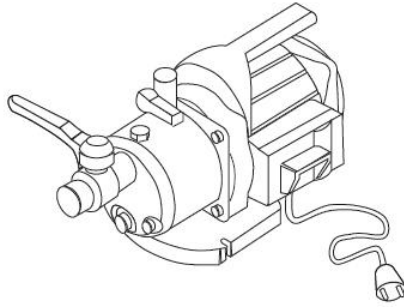
Brass housing, high-
grade temperature-
resistant synthetic
material inner compo-
nents, hot-water-
resistant elastomer
seal ring

Z121-3/8A

E) Grupo de llenado.**Accesorios para puesta en marcha y mantenimiento de instalaciones solares térmicas**

Hay elementos que si bien no son necesarios para la correcta ejecución de una instalación de energía solar térmica facilitan la puesta en marcha de la misma y su posterior mantenimiento. Rellenar la instalación de forma apropiada y comprobar periódicamente que el fluido solar mantiene sus

características es vital si queremos que la instalación no pierda ni rendimiento energético ni su capacidad de protección anti-heladas.

**Grupo de llenado de instalación**

Características	Unidad	
Tensión de alimentación	V/Hz	220/50
Temperatura máxima fluido solar	°C	40
Altura máxima de llenado	m	46
Descripción	Ref.	€
Grupo de llenado de instalaciones	0020020409	546,00

Anexo V.- Planos.

Este anexo incluye los siguientes planos:

1. Fachadas.
2. Sección del edificio.
3. Planta baja.
4. Primera planta.
5. Cubierta.